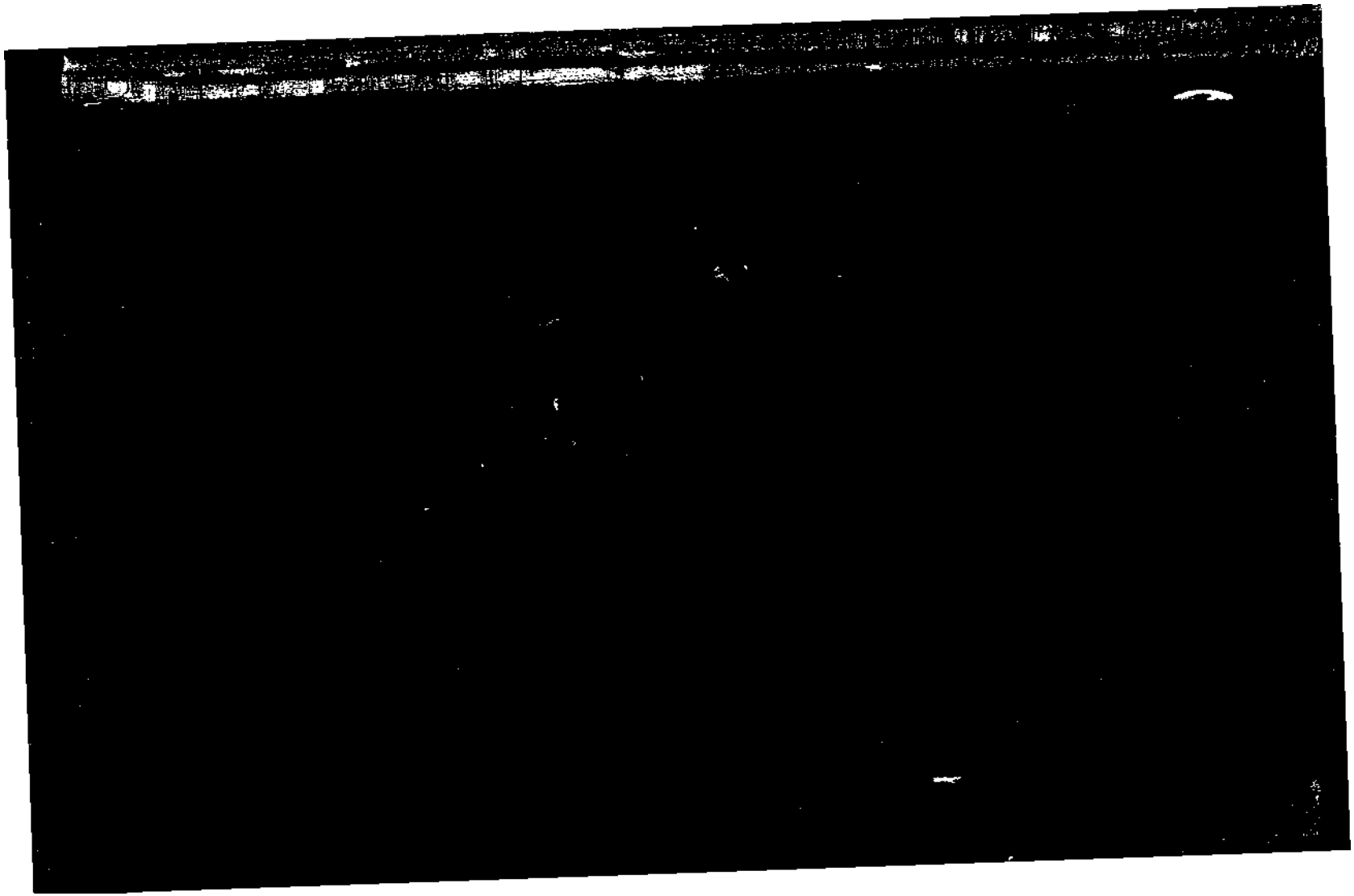


D. Boiangiu,
^ Gh. Paizi,
N. Enescu

Lucrarea tratează calculul, proiectarea, utilizarea şi tehnologia de execuţie a arcurilor de toate tipurile.

Cuprinde: materialele folosite ia fabricarea arcurilor, arcurile in foi. arcurile bara de torsiune, arcurile spirale plane, arcurile elicoidale, arcurile inelare, arcurile-disc, arcurile speciale metalice (tuburi Bourdon, membrane, capsule, tuburi gofrate) şi nemetalice, arcuri de cauciuc, arcuri pneumatice şi amortizoare.

De asemenea, lucrarea se ocupă şi de încercarea principalelor tipuri de arcuri mai des intilnite în construcţia

de maşini.

Pentru fiecare tip de arc se dau şi exemple de calcul.

Se adresează inginerilor proiectanţi şi tehnologilor din industria constructoare de maşini, fiind utilă şi studenţilor institutelor tehnice.

Redactor responsabil: ing. NI COI. A fl UDEANU Tehnoredactor: El.L.Y GORUN

Dai la cules J7.JC.1966. Bun de tipar 17.03.1967. Apărut 1967. Tiraj; 3.000 ^ 140. Brodate. Hirtie tipar înalt tip A, 610X860'16. Coli editoriale 25,17. Coli de tipar 28,50. Planşe: tipar, 10. A 15 .XSft-'1966. C. Z. pentru bibliotecile mari 62-27. C. 7.. pentru bibliotecile mici 62.

Tiparul executat la întreprinderea poligrafica Sibiu, str. N. Balcescu nr. 17.
Republica Socialistă România Comanda tir. 19

7P R E F A Ţ Ă

I n stadiul aciuai al dezvoltării industriei constructoare de maşini, elementele elastice au o utilizare deosebit de largă.

Elementele elastice apar In componenţa celor mai importante maşini şi instalaţii, iar studiul, proiectarea şi construcţia acestora constituie în general o problemă specifică. O deosebită atenţie trebuie acordată elementelor elastice utilizate în dispozitivele de automatizare, la care precizia lor de funcţionare are o mare însemnătate.

Dezvoltarea impetuoasă a tehnicii, proiectării şi construcţiei de maşini din ţara noastră, eforturile tot mai accentuate de a automatiza procesele de producţie, au făcut să se simtă lipsa unei monografii care să trateze elementele elastice ale maşinilor şi aparatelor. Deşi în literatura noastră tehnică există o serie de lucrări referitoare la arcuri şi la elemente elastice folosite in construcţia de maşini, totuşi se simte nevoia ca unele elemente elastice speciale, folosite în dispozitivele şi instalaţiile moderne, care în general nu au fost tratate pînă acum, să fie cunoscute mai în amănunt de către proiectanţi, ingineri şi tehnicieni.

în cadrul spaţiului rezervat, autorii şi-au propus ca, pe lîngă o tratare generală a problemelor construcţiei şi folosirii elementelor elastice, să prezinte principalele rezultate practice şi teoretice actuale, cunoscute în acest domeniu.

S-a insistut asupra elementelor elastice speciale utilizate în dispozitivele de automatizare.

Lucrarea se adresează inginerilor, proiectanţilor şi tehnicienilor din sectorul construcţii de maşini, fiind totodată utilă studenţilor şi personalului didactic din

învăţămintul tehnic.

în general, In lucrare problemele au fost. expuse succint, căutîndu-se a se pune la dispoziţia celor interesaţi rezultatele ce pol fi utile proiectanţilor şi inginerilor ce utilizează aceste elemente.

Pentru a uşura orientarea proiectanţilor, precum şi a inginerilor şi tehnicienilor din exploatare, în lucrarea de faţă sînt prezentate numeroase tabele, nomograme, diagrame din care se pot extrage rezultatele necesare în mod operativ. în acest scop s-au folosit lucrări de specialitate din care s-au extras figuri, tabele etc. Lucrările de specialitate consultate de autori sînt indicate în bibliografia de la sfîrşitul cărţii.

Autorii au lucrat in comun, munca de coordonare revenind tov. conf. irig. D. D. Boiangiu.

Al'TORH

Noţiuni introductive

1.1. Generalităţi

Organele de maşini care intră in componenta mecanismelor, aparatelor şi maşinilor se pot împărţi în două mari grupuri:

— organe de maşini ale. căror deformaţii în timpul funcţionării mecanismului, aparatului sau maşinii sînt de nedorit; dintre acestea fac parte: pîrghiile mecanismelor, roţile dinţate, arborii unor maşini, şuruburile conducătoare ale strungurilor etc.;

— organe de maşini ale căror deformaţii sînt necesare pentru buna funcţionare a mecanismului, aparatului sau maşinii respective; acestea se numesc elemente elastice, din care fac parte şi arcurile.

Noţiunea de element elastic este mai largă decît aceea de arc, arcurile fiind numai anumite tipuri de elemente elastice. Prin elementele elastice se realizează legătura elastică dintre diferite părţi sau piese ale unei maşini, ale unui mecanism, aparat sau dispozitiv. Datorită formei şi proprietăţilor elastice ale materialului din care sînt executate, acestea permit deformaţii elastice acceptabile sau corespunzătoare cerinţelor, sub acţiunea forţelor exterioare. Elementele elastice au o largă utilizare in construcţia de maşini şi aparate, de exemplu:

ca amortizoare de şocuri la suspensia vehiculelor de orice fel, tampoane, cîrlige de foraj, unele tipuri de cuplaje, frîne;

ca elemente motoare utilizate pentru a reda energia acumulată cum sînt: arcurile de ceasornic, arcurile supapelor motoarelor cu ardere internă, arcurile unor arme de foc

— ;pentru exercitarea unor forţe elastice permanente, la ambreiaje de fricţiune, întinzătoare;
— pentru măsurarea forţelor la dinamometre, cîntare, aparate de calibrat;
— pentru măsurarea unor parametri fizici prin transformarea acestora în forţe;
— pentru modificarea frecvenţei proprii şi amortizarea vibraţiilor la autovehicule, fundaţii, unele subansambluri sau organe de maşini;
— ca limitatori de forţe sau elemente de reglare la prese, ambreiaje, maşini sau cuplaje automate şi robinete de reglare.

1.2. Clasificarea arcurilor

Varietatea domeniilor de utilizare şi a formelor constructive ale elementelor elastice determină clasificarea lor după mai multe criterii. STAS 6916-64 stabileşte clasificarea şi terminologia pentru arcurile folosite în f'onstrucţia de maşini şi aparate.

După criteriul formei lor constructive, arcurile se clasifică în: arcuri în foi, elicoidale, disc, inelare, spirale plane, bare de torsiune şi speciale.

Terminologia arcurilor este dată în standard pe baza acestei clasificări. După criteriul solicitării arcului (direcţia şi sensul forţelor exterioare), arcurile se clasifică în: arcuri de compresiune, de tracţiune şi de încovoiere.

Solicitarea arcului în ansamblu nu trebuie confundată cu solicitarea materialului din care el este executat (natura eforturilor din material). Astfel, materialul arcurilor elicoidale de compresiune şi tracţiune este solicitat la răsucire, materialul arcurilor elicoidale de torsiune este solicitat la încovoiere etc.

După criteriul secţiunii semifabricatului, arcurile se clasifică in: arcuri cu secţiune rotundă, dreptunghiulară, pătrată şi profilată.

După criteriul materialului elementului elastic, arcurile se clasifică în: arcuri de oţel, de metale neferoase, de materiale nemetalice.

După criteriul rolului lor funcţional în maşină sau aparat, arcurile se clasifică în: arcuri de amortizare, de acumulare de energie şi pentru exercitarea unei forţe de măsurare.

După criteriul rigidităţii lor, arcurile se clasifică in: arcuri cu rigiditate constantă şi arcuri cu rigiditate variabilă.

Materialele din care se execută elementele elastice trebuie să prezinte o serie de calităţi. Dintre acestea se menţionează: rezistenţa la rupere, rezistenţa la oboseală, limita de elasticitate —cit mai ridicate, o bună rezistenţă la coroziune şi la variaţiile de temperatură posibile în condiţiile de funcţionare.

în cap. 2 se tratează pe larg problemele privind proprietăţile fizice şi chimice ale materialelor pentru elemente elastice şi se fac recomandări privind alegerea şi utilizarea lor.

Ca în orice construcţie nouă şi în proiectarea elementelor elastice, problema principală care se pune este alegerea soluţiei care satisface cel mai bine condiţiile impuse de scop, la un preţ de cost cît mai redus.

O cerinţă de bază pentru rezolvarea optimă a problemei este folosirea cît mai judicioasă a materialului în vederea asigurării solicitării cît mai uniforme şi alegerea unei forme economice care să permită acumularea unui lucru mecanic de deformaţii maxim, sub formă de energie potenţială, cu un volum de material minim.

1 .3. Caracteristica elementelor elastice

Elementele elastice sînt solicitate de forţe sau momente care au valori constante sau

variabile.

Cînd forţele sau momentele nu depăşesc limitele de elasticitate ale materialului, între acestea şi deformaţii există o anumită dependenţă, care poate fi exprimată printr-o relaţie de forma:

$$P=9(f) \text{ sau } M\ 9(0),$$

în care: P este sarcina, in kgf; M — momentul, în kgf-cm; f — deformaţia (săgeata), în cm; 0 —deformaţia unghiulară, în rad.

Curba rezultată din reprezentarea grafică a acestei funcţii se numeşte caracteristica arcului.

Caracteristicile elementelor elastice pot fi liniare sau neliniare.

în fig. 1.1 sînt reprezentate principalele tipuri de curbe caracteristice, pentru elementele elastice.

Raportul dintre creşterea sarcinii şi creşterea deformaţiei poartă denumirea de rigiditate şi se notează cu c_r:

$$c_r = \text{sau } c_r = \frac{\Delta P}{\Delta f}$$

în fig. 1.1, a curba caracteristică I reprezintă cazul cînd c_r este constant, iar curbele. II şi III cazurile caracteristice cînd c_r este variabil.

Uneori se foloseşte şi noţiunea de flexibilitate a elementului elastic — îndeosebi la arcuri, care reprezintă inversul rigidităţii:

$$\delta = \frac{1}{c_r}.$$

în fig. 1.1, b este reprezentată caracteristica reală a unui arc. Se observă diferenţa între caracteristica de încărcare şi cea de descărcare a arcului.

Sub sarcină, elementele elastice se deformează, acumulînd lucru mecanic. Lucrul mecanic de deformare este suprafaţa cuprinsă între caracteristica elementului elastic şi abscisă (fig. 1.1, a şi fig. 1.2, a şi 6).

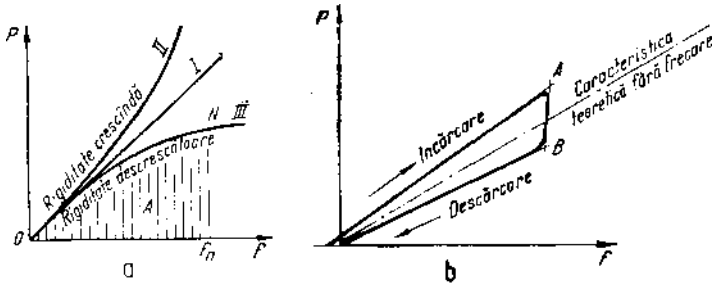


Fig. 1.1

Valoarea lucrului mecanic de deformare, pentru elementele elastice cu caracteristică neliniară, se obţine prin integrarea suprafeţei respective, adică:

— pentru solicitările la încovoiere (fig. 1.2, a):

$$L = \int_0^{f_n} P\,df;$$

— pentru solicitările la răsucire (fig. 1.2, *b*):

$$L = \int_0^{\varphi_2} M d\varphi.$$

în cazul caracteristicilor liniare, lucrul mecanic de deformare este:

$$L = \frac{Pf}{2}$$

— pentru solicitări la încovoiere: $L = \frac{}{}$;

— pentru solicitări la răsucire: L =

sau, ţinînd seama de faptul că c, = =...= =lg a,

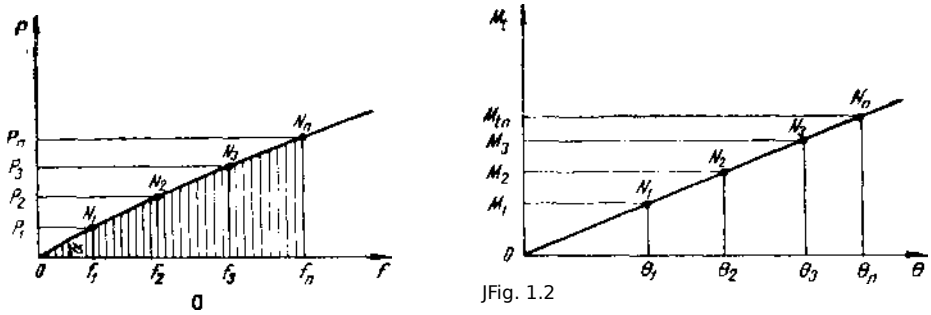
/I (2 *t»* unde *x* esle unghiul de înclinare a caracteristicii liniare:

Dacă se înlocuieşte săgeata, respectiv deformaţia unghiulară, cu valoarea sa în funcţie de s,MI sau *i ma x t* se obţine energia de deformare:

$$V_v = r, \frac{T^2}{2} \text{ sau } V_v = \frac{M^2}{2}) \frac{l}{GJ_p}$$

după cum elementul elastic ^este solicitat la încovoiere sau răsucire.

în aceste relaţii, V este volumul elementului, *E* şi *G* modulele de elasticitate longitudinal şi transversal, iar *y* | este coeficientul de utili-



0 JFig. 1.2

zare volumetrică, care indică gradul de utilizare a materialului pentru acumularea de lucru mecanic de deformare.

Luarea în considerare a coeficientului de utilizare volumetrică pentru stabilirea formei celei inai indicate este obligatorie la proiectarea unui element elaslic.

Uneori se fac aprecieri privind lucrul mecanic acumulat pe unitatea de volum. în acest scop se folosesc relaţiile:

$$UT \text{ vr } a^* \qquad W$$

$$W'_0 = \frac{}{} = v) \text{ sau } \frac{}{\theta} = {}_y = Yj \frac{}{\sigma}$$

liaportind la greutatea arcului se obţine:

$$v_r \frac{}{} \frac{w}{} \frac{}{} Z?$$

unde Q este greutatea elementului elastic, iar y greutatea specifică a materialului.Pentru a se lua în considerare prevederile necesare în exploatarea elementelor elastice se foloseşte relaţia: /)„= unde L_u este lucrul mecanic util, iar L_c lucrul mecanic consumat.

1.4. Vibraţiile elementelor elastice

Problema vibraţiilor elementelor elastice, inclusiv a arcurilor, nu este cuprinsă în această lucrare. Totuşi, pentru rezolvarea unor probleme mai simple, se dau unele relaţii de bază pentru calculul vibraţiilor.

Vibraţii libere. Deseori este important să se cunoască pulsaţia proprie, perioada şi frecvenţa proprie a unui element elastic. Dacă se neglijează greutatea proprie a elementului elastic se obţin relaţiile:

Pulsaţia proprie: a)$_0$= / [s^{-1}]

unde: g este acceleraţia căderii libere; f_{st} — săgeata statică.

Perioada vibraţiei: T= — =2rc I/— [si.

Frecvenţa proprie: f= [s^{-1}].

Vibraţii forţate. în cazul unei sarcini oscilatorii, care are o pulsaţie w, vibraţiile forţate se caracterizează prin factorul de amplificare

care înmulţeşte amplitudinea pe care ar produce-o sarcina aplicată static.

Factorul de amplificare este infinit cînd apare fenomenul de rezonanţă, adică w = co$_0$, ceea ce duce la ruperea elementului elastic. Principala concluzie care se desprinde este că fenomenul de rezonanţă şi cîmpul din apropierea sa trebuie evitate. Atunci însă cînd condiţiile impun ca $Q>_0>M$, este necesar ca trecerea prin w = m$_0$ să se facă foarte rapid, pentru a evita ruperea sau deteriorarea elementului elastic.

în capitolele care urmează se dau la diferite tipuri de elemente elastice unele indicaţii referitoare la vibraţii, fără ca acest lucru să însemne că problema vibraţiilor a fost propusă şi tratată în această lucrare.

Materiale peniru arcuri

2.1. Generalităţi

Materialele destinate executării arcurilor trebuie să corespundă multiplelor condiţii de funcţionare ale acestora. Ele trebuie să posede înalte proprietăţi elastice, rezistenţă la solicitări statice şi dinamice, rezilienţă, limită de curgere şi rezistenţă la oboseală ridicate. De asemenea, pentru anumite condiţii de exploatare se mai impune: rezistenţă la temperaturi ridicate şi la coroziune, dilatare termică redusă, precum şi o stabilitate cît mai ridicată a proprietăţilor elastice.

Alegerea materialului, cît şi a procesului tehnologic pentru ~~un~~ caz dat trebuie să se facă cu luarea în considerare a tuturor factorilor care caracterizează regimul de funcţionare a arcului, comportarea materialului şi eventuala modificare în timp a unor caracteristici ale acestuia.

La alegerea materialului trebuie să se ţină seama că:

— modulul de elasticitate variază cu timpul şi temperatura;

— poziţia de zero a arcului şi sarcina se schimbă cu timpul;

— caracteristica arcului în procesul de acumulare a energiei este întotdeauna deasupra caracteristicii sale la redarea energiei (efect histerezis) ;

— proprietatea elastică a elementului elastic se manifestă în unele cazuri nu imediat, ci după un timp oarecare; acest efect este evident mai ales la arcurile de cauciuc, la care, după comprimare şi încetarea acţiunii forţei, este necesar un timp de citeva minute pentru ca să revină la forma iniţială, dar el se mtîlneşte şi la arcurile metalice (acţiune elastică întîrziată).

Caracteristicile unui arc depind de:

— calitatea materialului din care este executat;

— procesul tehnologic de execuţie a semifabricatului;

— procesul tehnologic de execuţie a arcului.

Arcurile se execută din trei categorii de materiale: metale feroase, metale neferoase şi materiale nemetalice.

2.2. Metale feroase

în această categorie intră oţelurile carbon de calitate şi oţelurile aliate. Caracteristicile impuse arcului determină atît alegerea unei anumite compoziţii chimice, cît şi a unei anumite stări de livrare a oţelului respectiv. Un oţel laminat la cald nu poate fi folosit, de exemplu, pentru arcuri de mare precizie, deoarece cu toleranţele relativ mari cu care se livrează un asemenea oţel, nu se poate asigura obţinerea unei săgeţi (deformaţii) corespunzătoare.

Săgeata are o mare importanţă în modul de lucru şi comportarea unui arc. Ea depinde de dimensiunile şi forma geometrică a barelor din care se execută arcul respectiv, astfel că dacă

se urmăreşte obţinerea unei săgeţi cît mai apropiată de cea teoretică, trebuie ca toleranţele admise la dimensiunile barelor să fie cît mai mici. Operaţia de tragere sau laminare la rece care asigură astfel de toleranţe ridică însă preţul de cost al materialului.

La alegerea materialului, proiectantul trebuie să îmbine consideraţiile de ordin tehnic cu cele de ordin economic, să utilizeze la maxim calităţile oţelurilor de la cele mai ieftine, utilizabile în condiţiile date şi să aibă în vedere toţi factorii care concură la obţinerea unor arcuri corespunzătoare destinaţiei; îndeosebi să ţină seama de proprietăţile tehnologice ale materialului în ceea ce priveşte posibilitatea de execuţie a arcului, de importanţa secţiunilor şi parametrilor lor dimensionali, de posibilitatea de ridicare a indicilor calitativi ai materialului prin tratament termic sau mecanic.

Alegerea judicioasă a unui oţel de arc care să ţină seamă de toţi factorii indicaţi mai înainte impune, în primul rînd, cunoaşterea compoziţiei chimice a oţelului şi a influenţei elementelor de aliere.

Oţel carbon pentru arcuri. Oţelurile nealiate cu un conţinut de 0,4 — 1,25% C se folosesc pentru arcuri ca semifabricat laminat la cald sau tras. Este un oţel ieftin şi în cazul unui tratament termic adecvat poate chiar să înlocuiască unele oţeluri aliate. Oţelurile carbon prezintă însă tendinţă mare de decarburare, şi aceasta cu atît mai mult cu cît conţinutul în carbon şi siliciu este mai ridicat. Decarburarea duce la micşorarea rezistenţei la oboseală. Călibilitatea scăzută a acestor oţeluri impune anumite limite pentru grosimea semifabricatelor:

— semifabricatele rotunde să nu depăşească diametrul de 15 — 18 mm;

— semifabricatele dreptunghiulare să nu depăşească grosimea de 12—15 mm;

Temperatura de regim cea mai ridicată pentru oţelurile solicitate permanent nu trebuie să depăşească 180°C. La temperaturi joase sub 0°C rezilienţa scade, sensibil; temperatura critică de fragilitate fiind circa —100°C.

Arcurile din oţel carbon se caracterizează printr-o rezistenţă la oboseală foarte ridicată — în această privinţă nu sînt întrecute decît de arcurile fabricate din oţel aliat cu crom şi vanadiu. Fiind ieftine se utilizează pe scară largă.

Oţel aliat cu siliciu pentru arcuri. Conţinutul în carbon al acestor oţeluri variază între 0,35 şi 1%, iar conţinutul în siliciu între. 1 şi 3%. Faţă de oţelurile carbon, ele au o limită de elasticitate şi de curgere mai ridicate şi o rezistenţă la rupere mai mare. Siliciul influenţează favorabil rezilienţa şi tenacitatea. Rezistenţa la şocuri repetate creşte cu conţinutul în siliciu, devenind foarte importantă la un conţinut mai mare de 2%Si. La încălzirea pentru prelucrarea la cald, mai ales cînd aceasta este de lungă durată şi la temperaturi înalte, oţelul respectiv înclină spre decarburare, grafitizare (separarea carbonului liber) şi supraîncălzire (creşterea grăuntelui oţelului, materialul devenind fragil). Cu creşterea conţinutului în siliciu peste 2%, această deficienţă se accentuează. Faţă de oţelurile cu mangan, acestea nu sînt expuse pericolului fisurării în timpul călirii şi nu sînt sensibile la fragilitatea de revenire. Gradul de călibilitate (adîncimea zonei călite) permite executarea arcurilor din semifabricate de. grosimi pînă la 20 mm. In comparaţie cu alte oţeluri pentru arcuri, oţelurile aliate, cu siliciu au structură pronunţat fibroasă, care, în cazul arcurilor, este avantajoasă, împiedicînd apariţia crăpăturilor. Ca urmare a acestei structuri, epruvetele tăiate transversal vor prezenta o rezilienţa scăzută.

La temperaturi ridicate, arcurile din oţel aliat cu siliciu au aceeaşi comportare ca şi arcurile din oţel carbon. La temperaturi sub 0°C, în funcţie de conţinutul în siliciu, oţelul devine fragil. în tabela 2.1 sînt indicate temperaturile la care apare pericolul de fragilitate.

Rezistenţa la rupere a oţelului aliat cu siliciu in stare laminată la cald este de 80—95 kgf/mm^2, iar după călire şi revenire, 90 — 160 kgf/mm^2. *Tabela 2.1* Pentru arcurile de supape, limita Temperaturile la care apare pcrieoiui superioară de utilizare după călire de fragilitate la oţelul eu siliciu şj revenire este de 200 kgf/mm^2.

Conţinutul siliciu, %	1n Temperatura la care apare fragilitatea, °C
2	— 100
3	— 50
4	+ 40

Oţelurile aliate cu siliciu sînt cele mai puţin deficitare, rezistă la solicitări mari şi la şocuri repetate.

Oţel aliat cu mangan pentru arcuri. Acest oţel conţine 0,45—0,8%C şi 0,66—2% Mn. Manganul măreşte călibilitatea oţelului, fapt care permite semifabricatelor respective să aibă o grosime pînă la 25 mm. De asemenea, datorită manganului, oţelurile respective suferă o decar- hurare superficială redusă. Alierea cu mangan mai are ca scop ridicarea rezistenţei la rupere, simultan însă rezilienţa şi tenacitatea oţelului scad. După terminarea prelucrării la cald, suprafaţa semifabricatului din oţel cu mangan este foarte netedă. Aceste oţeluri prezintă dezavantajul că sînt sensibile la supraîncălzire; ca urmare, temperatura de încălzire în vederea executării arcului sau în vederea tratamentului termic, precum şi durata menţinerii la temperatură ridicată trebuie să corespundă dimensiunii şi formei semifabricatului sau arcului. Datorită conductibilităţii termice reduse, aceste oţeluri tind să formeze stări de tensiune interioară, deci trebuie încălzite şi răcite cu atenţie, şi aceasta cu atît mai mult cu cît profilul semifabricatului este mai dificil. Alt neajuns important al acestor oţeluri pentru arcuri este fragilitatea la revenire.

La temperatură ridicată, arcurile din oţel mangan se comportă ca şi arcurile din oţel carbon.

Rezistenţa la rupere în stare laminată la cald este de 80—90 kgf/mm^2; limitele obişnuite de utilizare, după călire şi revenire, 90 — 150 kgf/mm^2; limita superioară de utilizare (la oţelul cu 0,8%C)—180 kgf/mm^2.

Acest oţel se foloseşte la fabricarea tuturor tipurilor de arcuri, dar în specia] a arcurilor în foi şi a celor elicoidale pentru autovehicule şi material rulant.

Oţel aliat cu manj/an şi siliciu pentru arcuri. Astfel de oţeluri conţin 0,8 —l,5%Mn şi 1 —1,5’% Si (chiar mai mult în anumite cazuri). Cele două elemente de aliere ridică gradul de călibilitate, reduce gradul de decarburare şi îmbunătăţeşte caracteristicile mecanice. Introducerea manganului micşorează pericolul de separare a carbonului liber, neajuns pe care-l prezintă oţelurile aliate numai cu siliciu. Prezenţa siliciului micşorează sensibilitatea la supraîncălzire provocată de mangan şi măreşte stabilitatea la revenire.

Folosirea oţelului aliat cu siliciu şi mangan la arcuri permite mărirea grosimii semifabricatelor pînă la 25 mm. Se utilizează la fabricarea (1 iferitelor tipuri de arcuri greu solicitate pentru vehicule de mare viteză, mcuri care se comportă bine la şoc.

Otel aliat eu nichel si siliciu pentru arcuri. Aceste oţeluri conţin 0,8-4,5% Ni şi 1-2%’ Si.

Adaosul nichelului are drept scop mărirea călibilităţii. într-o mică măsură se măreşte şi rezistenţa şi tenacitatea oţelului. Adaosul de nichel iu oţelurile cu siliciu împiedică separarea grafitului şi decarburarea stratului superficial.

Otel aliat cu crom pentru arcuri. Continutul în crom variază între 1-1,5%.

Fără a scădea rezilienţa oţelului, cromul oferă oţelului o rezistenţă mai mare decît siliciul şi manganul. Cu creşterea conţinutului în crom peste 1,5%, rezilienţa oţelului începe să scadă.

Printre avantajele pe care le prezintă oţelurile aliate cu crom pentru arcuri sînt următoarele: grad de călibilitate ridicat, susceptibilitate redusă la decarburare şi supraîncălzire; deformaţie redusă sub influenţa tensiunilor interne cu ocazia tratamentului termic. Prezintă însă dezavantajul de a fi susceptibil la fragilitatea de revenire.

Temperatura de regim a arcurilor din otel aliat cu crom ajunge pînă la 320°C.

Oţelurile aliate cu crom se utilizează la arcuri solicitate intens. Utilizarea lor nu este suficient de frecventă din cauza fragilităţii de revenire. Cromul, ca adaos la alte elemente de aliere, constituie un material de bază pentru arcuri.

Otel aliat cu crom si siliciu pentru arcuri. Aceste oţeluri conţin 0,35-0,60% C, 0,70-2% Si şi 0,70-l,30%Cr.

Oţelurile cu crom şi siliciu au proprietăţi mecanice înalte şi o oarecare sensibilitate la supraîncălzire. Adaosul de siliciu înlătură fragilitatea de revenire provocată de prezenţa cromului, iar acesta împiedică separarea grafitului, defect caracteristic oţelurilor cu siliciu. Călibili- tatea oţelurilor aliate cu crom şi siliciu nu este însă suficient de bună; în scopul ameliorării acesteia se adaugă 0,8...1,2% Mn, denumirea oţelului în acest caz fiind oţel crom-siliciu-mangan.

Proprietăţile elastice ale arcurilor respective nu dispar dacă temperatura de regim nu depăşeşte 350°C.

Arcurile din oţel cu crom şi siliciu se folosesc pe scară largă datorită rezistenţei lor la temperatură, la oxidare şi datorită caracteristicilor lor mecanice înalte.

Otel aliat cu crom si mangan pentru arcuri. Aceste oţeluri conţin 0,40.. .0,65% C; 0,90. .'.1,50% Cr; 0,70. ..1,20% Mn.

De alegerea corectă a raportului între crom şi mangan depinde obţinerea valorilor maxime ale proprietăţilor oţelului respectiv. Un conţinut mai mare în mangan micşorează brusc rezilienţa arcului, mai ales după călirea şi revenirea acestuia.

Manganul fiind elementul hotărîtor în privinţa călibilităţii, asociat cu cromul face posibilă călirea semifabricatelor de arcuri cu grosimi de 25—30 mm.

Oţelul aliat cu crom şi mangan manifestă, într-o măsură mai mică decît oţelul mangan, sensibilitate la fragilitatea de revenire, totuşi şi în acest caz trebuie luate măsuri pentru prevenirea ei. La călirea în ulei, arcurile suferă deformaţii reduse. Cromul micşorează sensibilitatea la supraîncălzire, defect dat de mangan; totuşi, temperaturile în timpul prelucrării la cald nu trebuie să depăşească pe cele prescrise. Atît manganul, cît şi cromul, spre deosebire de carbon şi siliciu, măresc modulul de elasticitate transversal, ~~G.~~ în oţelurile aliate cu crom şi mangan, modulului de elasticitate transversal ajunge la valori de circa 8 000 kgf/mm[1]. Cu mărirea temperaturii, valoarea lui scade considerabil. în fig. 2.1 sînt date curbele de variaţie a modulului de elasticitate transversal cu temperatura pentru diferite materiale.

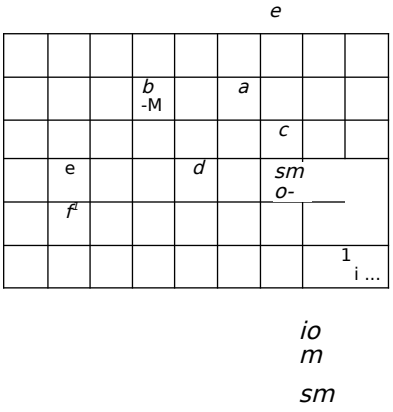


Fig. 2.1

Curba ~~a~~ este trasată pentru oţelul R4 STAS 893-54 (fost coardă de pian), oţel carbon călit

Z008

100 ff300 Femperstum

(/e/vcf/

în ulei, oţel carbon tras la rece; curba ~~b~~ pentru oţel aliat cu crom şi vanadiu prelucrat la cald şi pentru oţel aliat cu wolfram; curba c pentru oţel inoxidabil tras la rece; curba ~~d~~ pentru

melal-monell; curba *e* pentru bronz cu beriliu; curba *f* pentru alamă specială. Diagramele au fost trasate pentru epruvete cu diametrul de 2,5 mm.

Ca şi oţelurile aliate cu mangan, aceste oţeluri nu sînt indicate la execuţia arcurilor supuse la şocuri repetate.

Temperatura de regim a arcurilor solicitate permanent şi intens nu Irebuie să depăşească 300°C.

Arcurile din oţel aliat cu crom şi mangan tind să înlocuiască pe cele cu crom şi siliciu, care sînt mai scumpe şi care au aproximativ aceeaşi comportare la temperatură şi aceeaşi rezistenţă la oxidare.

Oţelul de arc aliat cu crom şi mangan are o bună rezistenţă la obo- seală, fapt care îl face utilizabil la arcurile cu destinaţii importante, care funcţionează la eforturi alternative.

Oţelul aliat cu crom şi mangan se foloseşte la fabricarea arcurilor elicoidale groase, călibilitatea fiind asigurată pînă la dimensiunile limită ale acestor arcuri, de asemenea şi la alte tipuri de arcuri solicitate intens: arcuri pentru locomotive, vagoane, autovehicule de mare viteză. Dezavantajul lor constă in fragilitate la revenire.

Oţel aliat cu crom-siliciu şi mangan pentru arcuri. Conţinutul atît în mangan, cît si în siliciu este de circa 1%, iar în crom de 0,4-0,8%.

Cromul în proporţie de numai 0,4% este suficient pentru a împiedica efectele supraîncălzirii, decarburarea stratului superficial şi separarea grafitului. Pentru reducerea tendinţei de creştere a grăuntelui oţelului la încălzire, adică a sensibilităţii la supraîncălzire, se adaugă de obicei 0,15—0,40% molibden, element care influenţează pozitiv şi călibilitatea.

Temperatura de regim a arcurilor solicitate permanent şi intens nu trebuie să depăşească 300°C.

Arcurile din oţel aliat cu crom, siliciu şi mangan au rezistenţă mare, elasticitate bună, rezistenţă la oboseală şi nu prezintă tendinţă de fragilitate la revenire. Din acest material se execută mai ales arcuri inelare şi arcuri de torsiune.

Oţel aliat cu crom şi vanadiu pentru arcuri. Conţinutul în crom este de 1%, iar în vanadiu de 0,1—0,25%.

Adaosul de vanadiu măreşte rezistenţa la oboseală a oţelului respectiv. Rezistenţa la oboseală a oţelurilor pentru arcuri depinde în mai mare măsură de starea suprafeţei decît de compoziţia chimică; totuşi şi aceasta are o oarecare influenţă.

Datorită însuşirii vanadiului de a forma carburi şi de a contribui la purificarea înaltă a oţelului, oţelurile respective nu sînt sensibile la supraîncălzire, iar după călire şi revenire prezintă o structură cu grăunte fin, rezistentă la rupere prin acţionări bruşte. Yanadiul ridică punctele de transformare ale oţelului, permiţînd deci reveniri la temperaturi înalte. Revenirea la temperatura de 600°C, la care este supus oţelul aliat cu crom şi vanadiu, permite evitarea domeniului de fragilitate ireversibilă, precum şi eliminarea într-un grad înalt a tensiunilor interne, şi deci a deformaţiilor. Arcurile fabricate din acest oţel îşi păstrează proprietăţile elastice pînă la o temperatură de 400°C.

Oţelul aliat cu crom şi vanadiu dă arcurilor o rezistenţă la oboseală deosebit de mare; ca urmare se foloseşte la fabricarea arcurilor supuse la eforturi alternative. Sîrma trasă din acest oţel poate fi executată cu un diametru de pînă la 10 mm. Arcurile din oţel aliat cu crom şi vanadiu se remarcă prin proprietăţi elastice ridicate, rezistenţă dinamică şi statică mare, prezentînd o mare siguranţă în funcţionare. De asemenea, aceste arcuri se folosesc la dispozitive de mare precizie, putîndu-se impune condiţii stricte în ceea ce priveşte deformarea. Folosirea lor curentă este limitată de preţul lor foarte ridicat.

Oţel aliat cu crom, siliciu şi vanadiu pentru arcuri. Conţinutul în

crom este de circa 1%, în siliciu de 1—2%, iar în vanadiu 0,1—0,2%.

Cu creşterea conţinutului în siliciu, capacitatea oţelurilor aliate cu crom şi vanadiu pentru arcuri de a opune rezistenţă la şocuri repetate creşte şi mai mult. Faţă de oţelurile aliate cu crom şi vanadiu, oţelurile acestea prezintă o rezistenţă la oboseală mai mică.

Arcurile din oţel aliat cu crom, siliciu şi vanadiu îşi păstrează proprietăţile elastice pînă la temperaturi de 320°C. La temperaturi sub 0°C, fragilitatea oţelului dată de prezenţa siliciului este întrucîtva ameliorată de către crom şi vanadiu (v. oţelul aliat cu siliciu pentru arcuri).

Arcurile din oţel aliat cu crom-siliciu şi vanadiu pot fi intens solicitate, pot lucra la temperaturi ridicate sub sarcini bruşte; de asemenea pot fi solicitate la sarcini repetate.

Oţeluri aliate cu molibden, wolfram şi **vanadiu.** Molibdenul, wolframul şi vanadiul se folosesc numai ca adaosuri pe lîngă alte elemente de aliere, avînd o influenţă favorabilă asupra proprietăţilor oţelului.

Molibdenul micşorează sensibilitatea oţelului la revenire. Influenţa wolframului este egală cu a molibdenului numai dacă adaosul de wolfram este dublu faţă de cel de molibden. Vanadiul nu micşorează sensibil fragilitatea de revenire.

Vanadiul dă oţelului o mare rezistenţă la oboseală; wolframul influenţează mai puţin în acest sens, iar molibdenul nu îmbunătăţeşte de loc această caracteristică a oţelului.

Wolframul şi vanadiul influenţează favorabil în special tenacitatea.

Pînă la un conţinut de 2%, molibdenul ridică sensibil rezistenţa la rupere, limita de elasticitate, limita de curgere, conţinut după care valorile caracteristicilor mecanice încep să scadă. Un procent de 1—2% Mo M* adaugă oţelurilor de arcuri, înalt aliate cu crom, pentru a le mări rezistenţa la coroziunea acidului clorhidric şi a sărurilor acestuia. Arcurile din oţel cu crom şi molibden, înalt aliate, mai sînt destinate şi funcţionării la temperaturi pînă la 450°C. Oţelurile cu adaos de molibden, wolfram şi vanadiu permit revenirea la temperaturi ridicate, evitîndu-se prin aceasta posibilitatea de apariţie a fisurilor la revenire.

Arcurile cărora li se impun condiţii stricte în ce priveşte deformaţia se. fabrică din oţeluri cu unul din aceste adaosuri, deoarece numai revenirea la temperatură înaltă permite o bună eliminare a tensiunilor interne apărute cu ocazia călirii.

Molibdenul, wolframul şi vanadiul se mai introduc în oţeluri pentru a micşora sensibilitatea acestora la supraîncălzire (carburile acestor elemente deseompunîndu-se doar la temperaturi de 2000°C, împiedică creşterea grăuntelui oţelului în timpul încălzirii).

Oţeluri pentru arcuri antieorosive şi rezistente la temperaturi înalte. Atît rezistenţa la coroziune cît şi rezistenţa la temperaturi înalte presupun formarea unei pelicule protectoare la suprafaţa materialului, care să împiedice acţiunea în adîncime, distrugerea oţelului la temperaturi ridicate constînd dintr-o coroziune gazoasă, datorită oxigenului sau gazelor de sulf.

Oţelurile antieorosive şi rezistente la temperatură ridicată pentru arcuri sînt oţelurile înalt aliate cu crom, care, oxidîndu-se mai repede decît fierul, formează o peliculă protectoare de oxizi.

Deoarece în cazul arcurilor rezistente la temperatură înaltă trebuie ca materialul să prezinte la temperaturi ridicate şi anumite proprietăţi mecanice, în oţelul respectiv se mai adaugă molibden sau wolfram, clemente care menţin aceste proprietăţi la un nivel ridicat chiar la temperatură înaltă. Arcurile executate din aceste oţeluri se împart în două categorii, după structura oţelului care se obţine după călire şi revenire în aer, şi anume: arcuri din oţeluri martensitice; arcuri din oţeluri austenitice.

Oţelurile martensitice sînt magnetice şi călibile, şi conţin 12 — 18% Cr. Sînt de asemenea susceptibile la supraîncălzire, iar în cazul unei reveniri în domeniul de temperatură cuprins

între 500 şi 550°C devin fragile.

Din această categorie de oţeluri face parte oţelul 40 C 130, STAS 3583-64, cu compoziţia: 0,35—0,44% C; Mn^0,6%, Si<]0,6%; 12 — 14% Cr. Modulul de elasticitate longitudinal, *E,* al acestui oţel are valoarea aproximativă 22 000 kgf/mm^2, iar modulul de elasticilate transversală *G^8* 700 kgf/mm^2.

Oţelurile austenitice prezintă proprietăţi optime la coroziune, cît şi la temperatură ridicată, cum şi la temperaturi sub 0°C. Sînt antimagne- tice şi nu devin dure în urma călirii, rezistenţa şi duritatea obţinindu-se prin laminare la rece sau trefilare. După ecruisare, şi anume la o reducere a secţiunii cu 50%, se poate ajunge la o rezistenţă de rupere de 125 kgf/mm^2 şi o limită de proporţionalitate de 100 kgf/mm^2. Din această categorie de oţeluri face parte oţelul 10 TNG 180, STAS 3583-64, cu compoziţia: c4j0,12%; Mn^2%; Si^0,8%, 17—19 %Cr; 8—9,5% Ni, 0,7%Ti. Modulul de elasticitate longitudinal *E* al acestui oţel are valoarea aproximativă de 20 300 kgf/mm^2, temperatura de călire 1050 — 1120°C. Se utilizează la executarea membranelor şi burdufurilor şi a altor arcuri care lucrează la temperaturi mari, pînă la 400°C, în medii agresive, ca apa de mare, în soluţii bazice şi în soluţii slab acide. Acesl oţel este antimagnetic, se sudează bine, dar se lipeşte greu. Proprietăţile elastice reduse nu permit utilizarea oţelului respectiv la executarea arcurilor pentru aparate de măsură.

Aliajul elinvar (0,7—0,8% C; Si<0,6%; 2 — 3% Mn; 7—9% Cr; 33—35% Ni, 3,4% W, restul fier) se foloseşte la fabricarea arcurilor cu proprietăţi antieorosive ridicate, însă nu sînt stabile la temperaturi înalte; proprietăţile lui elastice rămîn neschimbate numai pînă la temperatura de 100°C.

Caracteristic la acest material mai este coeficientul de dilatare termică redus. Modulul de elasticitate al acestui aliaj este de 14 500 kgf/mm^2, rezistenţa la rupere 95 — 100 kgf/mm^2.

Durificarea se face numai prin ecruisare. în urma prelucrării la rece. Din elinvar se fabrică arcuri pentru instrumente de mare precizie.

în STAS 795-62 sînt prevăzute nouă calităţi de oţeluri destinate fabricării arcurilor de diferite tipuri, utilizate în diverse ramuri ale construcţiilor mecanice.

în cele ce urmează se prezintă principalele calităţi de oţeluri pentru arcuri.

Oţelul Arc 1 este un oţel aliat cu crom şi vanadiu. Se foloseşte la fabricarea arcurilor pentru armament, arcuri pentru supape, arcuri destinate suspensiei vehiculelor şi autovehiculelor de mare viteză etc. Este oţelul de cea mai bună calitate; folosirea lui pe. scară largă este limitată de preţul de cost foarte ridicat.

Oţelul Arc 2 este un oţel aliat cu crom şi mangan. Se foloseşte la fabricarea arcurilor groase de 25—30 mm de toate tipurile, arcuri pentru vehicule şi autovehicule de viteză mare etc. Are un preţ de cost destul **de** ridicat.

Oţelurile Arc 3 şi Arc 9 sînt oţeluri aliate cu mangan şi siliciu. Se folosesc la fabricarea arcurilor cu grosime pînă la 25 mm, arcuri de supape, arcuri pentru vehicule şi autovehicule etc.

Oţelurile Arc 4 şi Arc 5 sînt cele mai frecvent folosite dintre oţelurile aliate. Au preţ de cost convenabil şi pot fi tratate termic. Se folosesc la fabricarea diferitelor tipuri de arcuri în construcţia de maşini, arcuri pentru supape de manevră, arcuri pentru supape de siguranţă şi de închidere rapidă, arcuri pentru material rulant, arcuri de tampoane, arcuri în foi, arcuri spirale. Oţelul Arc 4 se foloseşte în special la execuţia arcurilor elicoidale cu profil dreptunghiular (volute) şi a arcurilor în foi.

Oţelurile Arc 6 şi *Arc 7* sînt oţeluri carbon. Se folosesc la fabricarea arcurilor de importanţă redusă; totuşi, cînd sînt tratate termic în condiţii optime pot înlocui oţelurile aliate, mai ales cînd se cere o rezistenţă mare la oboseală. Sînt cele mai ieftine oţeluri de arc.

~~Oţel Arc 8~~ este un oţel aliat cu crom-siliciu. Se foloseşte la fabricarea arcurilor intens solicitate, arcuri pentru vehicule şi autovehicule de mare viteză, arcuri de supape, diferite arcuri care lucrează la tempera- luri mari, arcuri rezistente la oxidare. Au preţ de cost ridicat.

Modulul de elasticitate longitudinal al oţelurilor cuprinse în STAS 795-62 este, în medie, de 2,1 x IO^4 kgf/mm^2, iar cel transversal de G=8xI0^3 kgf/mm^2.

2. 2. 1. Semifabricate standardizate pentru arcuri

Profiluri laminate la cald din oţel, STAS 795-62, sînt: oţelul rotund, otelul pătrat, otelul canelat si otelul lat.

în ceea ce priveşte livrarea, STAS 795-62 prevede că în mod normal, oţelurile se livrează în stare laminată la cald, cu duritatea Brinell corespunzătoare.

Pe bază de înţelegere, profilurile se pot livra şi în stare recoaptă sau normalizată, cu o duritate stabilită de comun acord. Tot în STAS 795-62 se indică adîncimea maximă a stratului decarburat (zona feritică plus zona de trecere) admisă, în funcţie de calitatea oţelului şi de grosimea laminatului.

Epruvetele pentru încercarea la tracţiune se execută prin aşchiere din probe luate în anumite condiţii, după tipul profilului. Aceste epru- vete se supun înainte de încercare tratamentului termic corespunzător

calităţii de oţel din care este laminai profilul, tratament indicat în STAS’ 795-62.’

Oţel lat pentru arcuri în foi şi arcuri volute, STAS 3020-59, se lamineză în două tipuri: tip I (fig. 2.2, *a)* şi tip II fig. 2.2, *b*).

Standardul respectiv indică dimensiunile, masele, precum şi abaterile limită la dimensiuni. Acest oţel se livrează:

— în lăţimi de la 30—200 mm;

— în grosimi de la 4 — 12 mm;

— în lungimi de la 2—6 m, admiţîndu-se la 15% din lot, la greutate, să fie format din bucăţi de 1—2 m; afară de cazul cînd în comandă s-a specificat că nu se admit lungimi mai scurte.

Atît în lungul muchiei, cît şi în planul perpendicular pe suprafaţa profilului, benzile de oţel lat sînt deformate, prezintă o anumită curbură. Standardul respectiv indică curburile admise pe metru.

Pentru arcuri destinate autocamioanelor, precum şi pentru arcuri conice, STAS 3020-59 prevede şi laminarea unui oţel lat cu dimensiuni speciale.

Oţel canelat pentru arcuri în foi. Dimensiunile, masele şi toleranţele acestui profil sînt prevăzute în STAS 909-62.

Drept material se foloseşte oţelul Arc 4; la înţelegere se pot utiliza şi alte calităţi de oţeluri pentru arcuri, prevăzute în STAS 795-62.

Oţel în bare profilate pentru arcuri elicoidale. Arcurile elicoidale se execută din bare de diferite secţiuni: standardizate sînt numai două profiluri: rotund şi pătrat.

Arcurile elicoidale din oţel rotund se execută din bare cu secţiune circulară, ale căror dimensiuni sînt prevăzute în STAS 333-64. în standardul respectiv sînt prescrise diametrele, abaterea limită a diametre- lor şi greutatea în funcţie de diametre. Barele sînt laminate la diametre

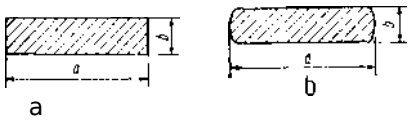


Fig. 2.2

cuprinse intre 12 şi 240 mm. în privinţa abaterilor, standardul respectiv menţionează că oţelul rotund se poate livra, la înţelegere, cu abateri numai în plus, în limitele întregului cîmp de toleranţe.

Uzina producătoare, în cazul cînd beneficiarul specifică în comandă, livrează profilurile decrustate. în acest scop profilul laminat la un diametru mai mare, cu aproximativ 2,5 mm, se decrustează la maşini de

rectificat; in orice caz nu se foloseşte în acest scop trefilarea, operaţie în care crusta arsă şi oxidată care acoperă suprafaţa materialului laminat la cald s-ar include in material. De. asemenea nu este permisă operaţia de calibrare cu galeţi.

Oţelul pătrat pentru arcuri elicoidale. în STAS 334-59 sînt indicate dimensiunile, toleranţele admise şi greutatea în funcţie de dimensiuni a acestor profiluri. Dimensiunile la care sînt laminate barele respective corespund unei variaţii a laturii pătratului de la 8 la 14 mm.

Oţelul pătrat este preferat celui rotund; numărul arcurilor rebutate in aceleaşi condiţii de, funcţionare fiind mai scăzut. Barele din oţel pătrat nu se admit cu curburi mai mari de 6 mm/m.

Oţel trapezoidal laminai la cald pentru inele-resort. Pentru inelele- resort dimensionate conform STAS 1384-50, se foloseşte oţelul trapezoidal, laminat la cald, STAS 1717-50. Profilul se lamineză din oţel Arc 5, STAS 795-62, şi se verifică în conformitate, cu acest standard. Duritatea Brinell a semifabricatului în stare de livrare trebuie să fie de maxim 265 kgf/mm^2.

Sirmă trasă. La alegerea între un profil laminat la cald sau unul laminat, la rece trebuie să se ţină seama de toleranţele dimensiunilor şi de eventualele abateri ale săgeţii de. la valoarea calculată pe baza diameLrului nominal şi anume:

Af=-4(Ad) +
-f 0,2(Ad)^2—0,01(Ad)^3,
unde: ~~Af~~ este abaterea săgeţii;
A~~d~~ —— abaterea diametrului Cu creşterea diametrului sîr- mei (Ad>0), săgeata scade (Af<0) şi invers (fig. 2.3)
Diagrama din fig. 2.3 arată că atunci cînd ~~Af~~ trebuie menţinut în limite strînse (cazul arcurilor pentru aparate de precizie), trebuie să se recurgă la sîrmă trasă, al cărui cîmp de toleranţe este restrîns; Zona haşurată se referă la oţelul tras, iar cea nehaşurată la oţelul laminat la cald.

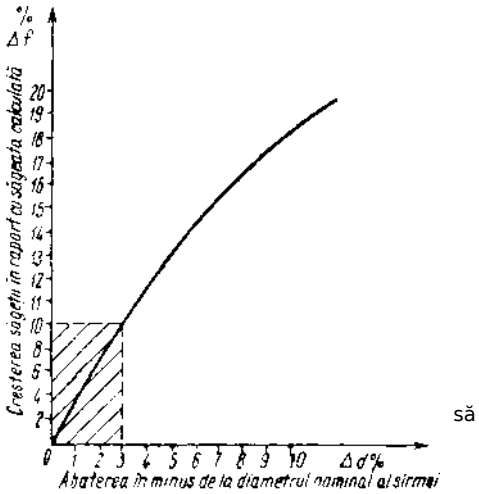


Fig. 2.3

Pentru fabricarea arcurilor de importanţă mai mică sau a arcurilor grele, de exemplu arcuri pentru vagoane sau autovehicule, ale căror

toleranţe sînt peste 10%, se poale folosi o sîrmă ale cărei abateri sînt mai mari de 3%, ceea ce corespunde cu sîrma laminată la cald.

Pentru fabricarea arcurilor de precizie, arcuri pentru dinamometre, aparataj electric, supape, ale căror toleranţe de funcţionare sînt de ordinul 4 — 10%, trebuie să se folosească sîrma trasă, ale cărei abateri la dimensiune sînt de ordinul 1—3%.

Pentru fabricarea arcurilor foarte precise, din sîrmă subţii'e, ale căror toleranţe de funcţionare sînt de ordinul 1 —4%, ar fi necesară o sîrmă cu abateri de circa 0,03 pînă la 0,1%. Aşa, de pildă, pentru o sîrmă de 0,5 mm diametru, abaterile ar trebui să fie de ±0,0017 pînă la ±0,005 mm. Fabricarea unei astfel de sîrme ar fi foarte costisitoare şi n-ar fi justificată decît la o producţie de serie foarte mare. Pentru serii mici sau unicate, se foloseşte sîrma trasă cu abaterile uzuale, din care, prin măsurări, se alege sîrma care corespunde toleranţelor impuse.

Sîrma de oţel cu diametrul de pînă la 12 mm trasă, de asemenea banda de oţel cu grosimea de pînă la 2 mm laminată la rece posedă calităţi adecvate utilizării ei ca arc, nemai necesitînd nici un tratament termic în vederea durificării.

Această sîrmă ajunge la rezistenţa corespunzătoare în urma ecruisa- jului înaintat suferit cu ocazia trefilărilor finale. Rezistenţa de rupere, care este funcţie şi de calitatea oţelului, ia valori între 170 şi 265 kgf/mm^2 în cazul sîrmei cu diametrul redus şi 100—130 kgf/mm^2 pentru sîrme groase.

Pentru arcuri cu destinaţie specială, mai ales pentru arcuri de supape se impune aplicarea tratamentului termic de călire şi revenire, care se face înaintea înfăşurării arcului în cazul sîrmei subţiri, sau după înfăşurare în cazul unei sîrme groase care nu permite înfăşurarea arcului la rece. în general, sîrma trasă la rece din oţel aliat fiind destinată, după cum indică alegerea calităţii materialului, pentru arcuri cu prescripţii superioare, se supune tratamentului termic.

Sîrma trasă clin oţel aliat pentru arcuri ce urmează a fi călite şi revenite. La fabricarea arcurilor din oţel aliat supuse tratamentului termic de călire şi revenire se, foloseşte sîrma cu secţiune circulară, pătrată sau lată, trefilată sau laminată la rece, conform STAS 892-60.

Oţelul din care se trag aceste semifabricate este oţelul prevăzut în STAS 795-62 sau un oţel cu o compoziţie chimică corespunzătoare, stabilită pe bază de înţelegere între producător şi beneficiar. STAS 892-60 prevede dimensiunile, toleranţele, şi condiţiile de livrare ale acestei sîrme. Conform acestui standard, sîrmele se livrează cu dimensiunile după cum urmează:

— sîrma cu secţiune circulară, cu diametrul cuprins între 3 şi 12,5 mm;
— sîrma cu secţiune pătrată, cu latura de 3—10 mm;
— sîrma lată: lăţimea nominală de 4 — 10 mm; grosimea nominală <le 2—3 mm.

Sîrma se livrează în stare recoaptă şi de calitate uniformă pe toată lungimea ei. Standardul limitează adîncimea stratului decarburat, şi imume:

— pentru arcurile supuse la solicitări mari cu destinaţii speciale, sînna va fi lipsită de strat decarburat, livrarea făcîndu-se în bare rec-
I il'icate;

— la sîrmele rotunde şi pătrate, adîncimea stratului decarburat va li: maximum 0,1 mm pentru sîrmele cu diametru, respectiv lăţimea cuprinsă între 3—6,5 mm inclusiv; maximum 0,2 mm, pentru restul dimensiunilor.

La recepţia materialului trebuie avute in vedere anumite condiţii de. stare, a suprafeţei sîrmei, şi anume: suprafaţa sîrmei trebuie să aibă un aspect uniform, fără dungi, aşchii, crăpături, scobituri, pelicule, ingroşări, pete de rugină şi alte defecte.

Sîrma trasă din oţel carbon dc calitate pentru arcuri care nu

trebuie Iratate termic. STAS 893-54 prevede dimensiunile, toleranţele admise, condiţiile de livrare şi recepţionare a sîrmei cu secţiune circulară trasă din oţel carbon de calitate, destinată fabricării la rece a arcurilor care im trebuie tratate termic.

Standardul respectiv prevede patru calităţi de sîrmă, clasificarea făcîndu-se după rezistenţa la tracţiune a acestor sîrme.

în standard nu se indică compoziţia chimică a oţelului din care se Irag aceste sîrme; este prescris însă gradul de puritate al oţelului, care Irebuie să fie cît mai înalt.

Compoziţia chimică se stabileşte de uzina producătoare în raport cu dimensiunile şi marca sîrmei. Pentru cazuri speciale, beneficiarul, de acord cu producătorul, poate să stabilească compoziţia chimică a oţelului. STAS 893-54 mai prevede condiţii suplimentare de recepţie pentru sîrmele cu destinaţie specială, arcuri de supapă; pentru fabricarea şi livrarea acestor sîrme, destinaţia lor trebuie indicată în comandă.

Mărcile de sîrmă R2 şi R3, destinate arcurilor de supape, vor satisface şi condiţii metalografice pentru structură, decarburare şi eventual mărimea grăuntelui.

Procesul tehnologic de fabricaţie al oricărei calităţi de sîrmă trasă Irebuie să conţină cel puţin un tratament termic; recoacere, normalizare viu patentare.

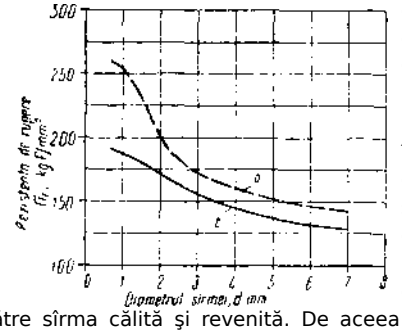
Sîrma obţinulă prin patentare, numită şi sîrmă coardă de pian, este sîrma care între trefilări este supusă la operaţia de patentare. Ea prezintă caracteristici mecanice mai bune şi toleranţe la diametru mult mai mici decît sîrma care, în vederea trefilării, este supusă operaţiei de recoacere sau normalizare. De asemenea, sîrma patentată prezintă
o uniformitate dimensională şi o suprafaţă netedă, fără defecte.

Operaţiile de recoacere, normalizare sau patentare au drept scop distrugerea ecruisajului produs de trefilărilc anterioare, şi prin aceasta aducerea materialului in stare de a mai putea suporta trefilări în continuare. Aceste operaţii duc la micşorarea fragilităţii şi rigidităţii, şi deci la îmbunătăţirea plasticităţii sîrmei.

In urma operaţiei de patentare, care constă din încălzirea sîrmei la o temperatură cuprinsă între 850 şi 1000°C şi apoi răcirea ei într-o baie de plumb topit la temperatura de 480—510°C, se obţine o structură sorbitică, rezultată din descompunerea izotermică a austenitei, cu o rezistenţă la rupere de 80 — 100 kgf/mm^2. Această structură permite un număr mare de trefilări aşa, încît în urma unui ecruisaj puternic se poate ajunge in final la o rezistenţă de rupere de 180—280 kgf/mm^2, adică la rezistenţa corespunzătoare mărcii R4 (coardă de pian). Sîrma îşi păstrează în acelaşi timp o plasticitate suficientă, necesară prelucrărilor mecanice ulterioare.

Oţelul carbon destinat sîrmei R4 este caracterizat nu numai prin- tr-un grad mare de puritate, ci şi printr-un conţinut ridicat în carbon.

Fig. 2.4



caracteristicile mecanice înalte ale acestei sîrme obţinîndu-se prin combinarea efectului produs de conţinutul ridicat în carbon şi de gradul înalt de ecruisaj.

Compoziţia chimică a oţelului pentru sîrma R4 poate fi următoarea: C 0,94%; Mn0,38%, Si0,16%, Cr0,5%, P 0,030%, S 0,02%, Cu 0,2%.

în fig. 2.4 se dă comparativ variaţia rezistenţei sîrmei obţinută prin procedeu] de patentare (curba ~~*a)*~~ şi a sîrmei călite şi revenite (curba ~~*b)*~~ în funcţie de diametrul sîrmei; se vede că diferenţa este mai accentuată la diametre mici. în ce priveşte rezistenţa oboseală, sîrma R4 nu ajunge la valorile date de către sîrma călită şi revenită. De aceea ea nu este potrivită pentru fabricarea arcurilor de supapă, adică la solicitări variabile.

Sîrma R4 se foloseşte. în mod deosebit la fabricarea arcurilor spirale ale mecanismelor de precizie cum sînt maşinile, de scris, de calcul, armele automate şi altele.

Arcurile executate din sîrmă trasă (prin recoacere, normalizare sau patentare) nu sînt supuse, de regulă unui tratament termic suplimentar, cu excepţia unei încălziri reduse, în scopul eliminării tensiunilor remanente.

2. 2. 2, Consideraţii asupra tratamentului termic aplicat arcurilor din oţel

Imprimarea proprietăţilor corespunzătoare unui oţel de arcuri se face fie prin tratament termic de călire-rcvenire, fie prin deformări plastice la rece (ecruisare).

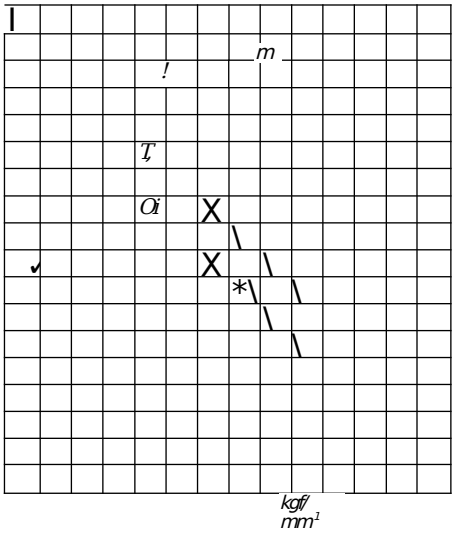
Arcurile executate din semifabricatele durificate prin ecruisare se supun şi ele unui tratament termic, şi anume unei recoaceri de deten- sionare, care constă din încălzirea la 230 pînă la 400°C, urmată de răcire în aer. Acest tratament termic are drept scop eliminarea tensiunilor remanente, apărute cu ocazia operaţiilor executate, la rece: deformarea plastică a semifabricatului şi înfăşurarea arcului. Pentru sîrma obţinută prin patentare, limitele de recoacere pentru detensionare sînt mai strînse. In fig. 2.5. se indică variaţia rezistenţei la rupere σ_r şi a limitei de elasticitate $\sigma_{e\bar{T}}$ a acestei sîrme în funcţie de temperatura de recoacere. Valorile maxime pentru σ_r şi σ_e se obţin prin recoacere în jurul temperaturii de 200°C.

Tratamentul termic de călire-revenire se aplică semifabricatelor din oţeluri aliate, iar în anumite cazuri şi semifabricatelor din oţel carbon, folosite la arcuri cu destinaţie specială. Acest tratament se aplică arcurilor gata executate, iar în unele cazuri şi semifabricatelor folosite la executarea arcurilor prin înfăşurare exclusiv la rece.

Tratamentul termic de călire-revenire este. influenţat foarte mult de dimensiunile relativ reduse ale arcurilor. Aici mai mult decît în alte cazuri, o călire prost aplicată duce la fragilitate, duritate neuniformă, deformaţii şi fisuri. Operaţia de călire-revenire trebuie condusă astfel îneît să se obţină o structură care să dea arcului o rezistenţă suficientă şi în acelaşi timp tenacitate şi limită elastică superioară. în urma călirii, în toată secţiunea materialului se urmăreşte obţinerea unei structuri martensitice.

Reuşita procesului depinde de următorii factori:

Compoziţia chimică a oţelului, care trebuie să corespundă, din punctul de vedere al călibilităţii (adîncimea stratului călit), dimensiunii rezultate prin calcul pentru arcul respectiv. în general, toate elementele de aliere, care cu fierul y formează soluţii solide, măresc călibilitatea;



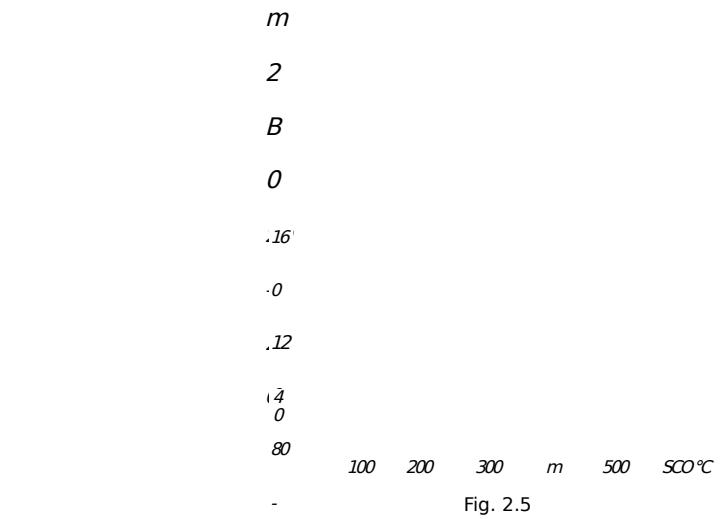


Fig. 2.5

influenţa este totuşi diferenţiată, aşa cum s-a arătat la descrierea diferitelor oţeluri pentru

arcuri. Elementele, de aliere contribuie, de asemenea, la formarea unei structuri de martensită fină.

Temperatura de călire şi durata de menţinere la această temperatură, care trebuie să asigure completa transformare a perlitei şi feritei în austenită, dar totodată să nu fie depăşite ca să nu se producă o creştere exagerată a grăunţilor de austenită formaţi (supraîncălzire). Temperatura de călire şi durata optimă se. stabilesc pentru fiecare oţel şi dimensiune în parte prin încercări prealabile, asociate cu un control metalografic sau de duritate.

Temperatura de călire şi durata sînt influenţate de viteza de încălzire a arcului. Cu cît încălzirea se face mai încet, cu atît temperatura la care are loc transformarea este mai mică, iar durata transformării mai

mare. Dintre elementele obişnuite de aliere ale oţelului pentru arcuri, inanganul dă acestuia o sensibilitate ridicată la supraîncălzire, ceea ce impune o respectare riguroasă a temperaturii şi duratei de încălzire, in vederea călirii. Un oţel supraîncălzit duce la o martensită grosolană şi, în final, după revenire, structura obţinută posedă proprietăţi mecanice scăzute, îndeosebi rezilienţa scăzută. O încălzire uniformă a materialului arcului, în condiţiile evitării unei supraîncălziri la suprafaţă, se realizează în băi de sare şi de plumb.

Viteza de răcire are o influenţă hotărîtoare asupra formării marten- sitei în toată secţiunea materialului arcului. Dacă viteza cu care se răceşte arcul nu este suficient de mare încît să se asigure şi în miezul sîrmei transformarea austenitei în martensită, apar structuri nedorite ca perlita, care provoacă tasarea timpurie a arcului, sau troostita de călire. Troostita de călire, care se obţine la viteze de răcire superioare transformării perlitice, dar inferioare transformării martensitice, prezintă eementita sub formă de lamele, ceea ce face oţelul fragil chiar şi după revenire, întrucît temperatura de revenire nu poate realiza solubilizarea cementitei. Structura obţinută în urma unei căliri în condiţii optime corespunde unei martensite fine, dar cu cît conţinutul in carbon este mai ridicat, cu alît probabilitatea de. a găsi o cantitate oarecare de austenită reziduală este mai mare.

Viteza de răcire trebuie să fie mai mare, mai ales în intervalul de temperaturi 600—450°C, cînd austenita prezintă nestabilitatea cea mai accentuată, transformarea ei ducînd în acest caz la troostită de

i ălire. Viteza de răcire trebuie să fie relativ mică în intervalul de temperaturi 300—200°C (în jurul temperaturii de formare a martensitei), pentru a preîntîmpina apariţia tensiunilor termice datorite răcirii. în funcţie de aceste două caracteristici pe care trebuie să le posede un mediu de răcire, se alege de preferinţă drept mediu de răcire uleiul care, în intervalul de temperatură 600—450°C, posedă o viteză de răcire, de circa 130°C/s, iar în intervalul de temperatură 200—300°C — de circa 25°C/s.

în cazul oţelurilor carbon, viteza de răcire în intervalul de temperatură 600—450°C trebuie să fie deosebit de mare, aşa încît uleiul nu mai corespunde ca mediu de răcire. în acest caz se foloseşte apa, care prezintă o viteză de răcire de circa 500°C/s pentru intervalul de temperatură 600—450°C şi de circa 260°C/s pentru intervalul 200—300°C.

Viteza de răcire ridicată în jurul punctului martensitic este cauza frecventelor crăpături la care este expus după călire oţelul carbon.

Din această cauză arcurile nu se pot folosi în starea corespunzătoare călirii pentru martensită; ele trebuie supuse unui tratament termic de revenire prin care se urmăreşte mărirea tenacităţii, reducerea durităţii şi reducerea tensiunilor interne. O mare influenţă asupra acestui proces o au temperatura de revenire şi durata menţinerii la această temperatură. Modificările care apar la încălzirea unui oţel cu 0,4% C, călit în prealabil pentru martensită, se pot urmări în diagrama din fig. 2.6.

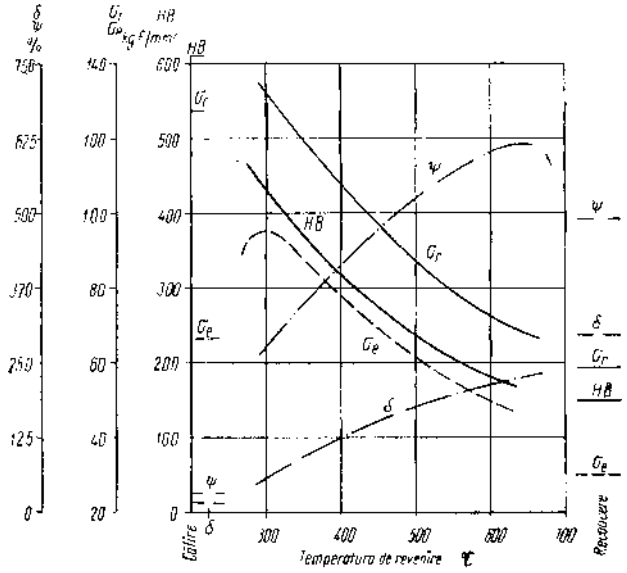


Fig. 2.6

în figură au fost reprezentate curbele de variaţie în funcţie de temperatură ale: alungirii specifice la rupere 8%, gîtuirii specifice <]*%, durităţii Brinell ~~HB,~~ limitei de elasticitate ~~a_e~~ şi rezistenţei de rupere ~~a_r~~. Proprietăţile materialului călit sînt indicate în partea stîngă a diagramei, iar valorile corespunzătoare materialului recopt sînt date în partea dreaptă a diagramei.

Curbele arată că pe măsura ridicării temperaturii de revenire, înce- pînd de la 250°C, rezistenţa oţelului, cu excepţia limitei de elasticitate (proporţionalitate), scade, iar rezilienţa creşte. Modificarea apreciabilă a proprietăţilor mecanice începe la temperatura de 400°C, iar la temperaturi de revenire cuprinse între 550—600°C se ajunge la o îmbinare optimă a proprietăţilor mecanice, caracterizată printr-o rezistenţă sufi- cinilă şi o rezilienţă ridicată. Oţelul supus unei asemenea reveniri înalte prezintă constituentul structural de sorbită globulară.

Arcurilor supuse la sarcini dinamice li se aplică revenirea la temperaturi care duc la obţinerea sorbitei globulare; celor cărora li se cere o rezistenţă şi o duritate mai ridicată revenirea se face în jurul temperaturii de 500°C, cînd se obţine o structură troosto-sorbitică. Constituentul denumit troostită de revenire se obţine prin revenirea oţelului la temperaturi de 300—450°C. Datorită dispersiei fine a cementitei, troostita de revenire este un constituent tenace, spre deosebire de troostita de călire care, din cauza cementitei lamelare, este casantă.

Formarea structurilor de revenire se bazează pe un proces de difuziune a carbonului, proces care. este uşurat nu numai de temperatura ridicată, ci şi de durata menţinerii la această temperatură. Deoarece modificările structurale care intervin în timpul procesului de revenire sînt însoţite şi de modificări în volum (diferiţii constituenţi avînd volume diferite) pentru a se evita apariţia de crăpături, încălzirea trebuie să se facă treptat, temperatura cuptorului la introducerea arcului trebuie să fie cu circa 150°C mai mică decît temperatura prescrisă

revenirii. Folosirea băilor de revenire asigură o temperatură de încălzire uniformă a arcului şi-i fereşte de oxidare, necesitînd o întreţinere relativ simplă. De reţinut că revenirea trebuie aplicată imediat după călire.

La alegerea duratei de revenire la o anumită temperatură, pentru a se evita obţinerea de rezultate diferite chiar în cazul aceluiaşi lot de arcuri tratate termic, trebuie să se aleagă regimul la care proprietăţile devin practic stabile. Curba de variaţie a acestor proprietăţi este asimptotică la axa timpului. Pentru temperaturi de revenire care depăşesc 300°C, menţinerea la temperatura de revenire este între o jumătate de oră şi o oră.

Structura oţelului supus revenirii este hotărîtoare în obţinerea unei structuri de revenire cu o dispersie fină a cementitei. Influenţa dăunătoare a grăuntelui de austenită mult crescut cu ocazia supraîncălzirii oţelului în timpul călirii se manifestă după revenire şi se resimte mai ales asupra rezilienţei arcului. Caracteristicile de rezilienţă sînt mai puţin influenţate. Structura optimă de călire, din care să rezulte o structură optimă de revenire, o constituie martensita fină prezentă în toată secţiunea arcului. S-a arătat că dacă în miezul arcului se obţine troostită de călire, aceasta nu suferă nici o modificare în urma încălzirii pentru revenire, arcul respectiv prezentînd o rezilienţă scăzută.

Viteza de răcire după revenire trebuie să fie redusă pentru a se evita apariţia unor noi tensiuni remanente de natură termică. în cazul oţelurilor care prezintă sensibilitate la fragilitate după revenire la tem-

 peraturi înalte, şi anume la temperaturi care depăşesc 500°C, răcirea lentă este contraindicată. în diagrama din fig. 2.7 se poate urmări efectul pe care îl are asupra rezilienţei o răcire bruscă, în comparaţie cu una lentă, în cazul unui oţel crom-nichel.

Fenomenul de micşorare a rezilienţei, cînd răcirea de la temperatura de revenire ridicată se face încet, este numit fragilitate de revenire de ordinul doi sau fragilitate de revenire reversibilă.

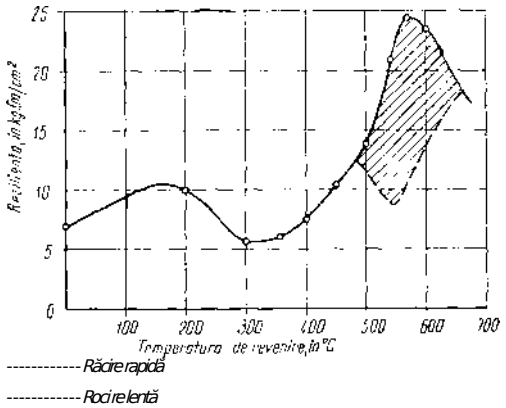


Fig. 2.7

Curba din fig. 2.7 pune în evidenţă existenţa a încă unui domeniu de rezilienţă scăzută, între 300 şi 400°C. Această fragilitate, numită fragilitate de ordinul întîi sau fragilitate de revenire ireversibilă, apare independent de condiţiile de răcire şi poate fi înlăturată numai printr-o revenire la o temperatură mai înaltă. Fragilitate de ordinul întîi prezintă, într-un grad mai mare sau mai mic, toate oţelurile. Fragilitate de revenire de ordinul întîi şi de ordinul doi

prezintă oţelurile al căror conţinut în fosfor depăşeşte 0,05 —0,06%, adică depăşeşte limita admisă din oţelurile de calitate, precum şi oţelurile cu un procent ridicat de mangan. Cromul dă de asemenea acest neajuns oţelului mai ales cînd conţine nichel şi un procent ridicat de mangan. Molibdenul şi wolframul reduc această sensibilitate a oţelurilor.

Tensiunile termice, care apar cu ocazia răcirii bruşte a oţelurilor care manifestă sensibilitate la fragilitatea de ordinul doi, se pot elimina printr-o recoacere de detensionare la temperatură coborîtă, urmată

<lo, răcire lentă. Este de menţionat faptul că fragilitatea de ordinul doi, care apare, de exemplu, în cazul unei reveniri la 520°C, urmată de răcire lentă, poate fi înlăturată printr-o revenire la 570°C, urmată de răcire rapidă; însă dacă în timpul încălzirii în vederea eliminării tensiunilor interne rezultate prin răcirea bruscă, dintr-o eroare oarecare arcurile ajung iarăşi la temperatura de 520°C, în urma răcirii lente, se obţine din nou rezilienţă scăzută.

Prin călire obişnuită, într-un singur mediu, urmată de revenire, nu se realizează o suficientă eliminare a tensiunilor interne, aşa încît pentru arcurile, cu toleranţe de funcţionare strînse se aplică, cu rezultate mai bune, călirea în trepte sau chiar călirea izotermă, care duc la o eliminare mai completă a tensiunilor interne şi la proprietăţi mecanice mai înalte. Călirea întreruptă în cazul arcurilor este dificil de realizat.

Călirea în trepte constă în călirea piesei în două medii de răcire; martensită obţinută este transformată ulterior, prin revenire, în sorbită. Practica acestei căliri presupune cunoaşterea temperaturii de început de transformare a austenitei în martensită, temperatură care depinde

700-600-500-400-"s 500-p'

| 200-| m- o- ■100- -200-

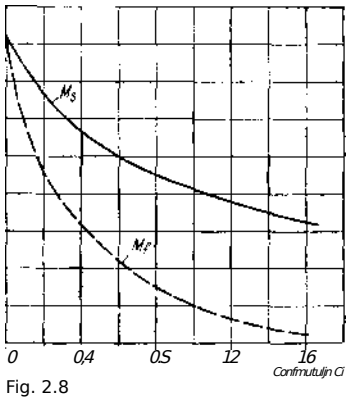


Fig. 2.8

de compoziţia chimică a oţelului respectiv şi îndeosebi de conţinutul în carbon. în fig. 2.8 se dau curbele de început (M_s) şi sfîrşit (*Mf*) ale transformării austenitei în martensită în funcţie de conţinutul în carbon.

Arcul încălzit la temperatura prescrisă pentru călire este răcit întîi într- un mediu cald la o temperatură puţin superioară temperaturii de

3

început de transformare a auslenitei în martensită (în jurul temperaturii de 250°C), menţinut la această temperatură un timp suficient ca toate punctele arcului să ia temperatura respectivă, apoi răcit din nou cu viteză mică într-un mediu cu temperatura de 40— G0°C.

În prima treaptă de răcire, austenita rămîne neschimbată şi de-abia în a doua treaptă austenita trece in martensită (are loc călirea propriu- zisă). Schematic, călirea în trepte se poate urmări pe fig. 2.9 (curba 2), comparativ cu călirea obişnuită într-un singur mediu (curba ~~1).~~ Este de remarcat faptul că timpul de menţinere în prima baie de răcire nu trebuie depăşit, ca să nu aibă loc transformarea auslenitei; în diagramă, segmentul ~~*ab*~~ nu taie curba de început de transformare a austenitei.

Acest procedeu de călire duce la apariţia unor tensiuni interne termice reduse, deoarece răcirea se împarte în două etape; de asemenea, transformările în diferitele puncte ale arcului se produc simultan. Acest

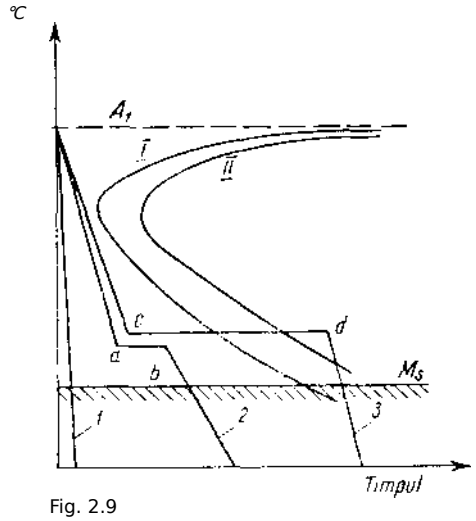


Fig. 2.9

mod de călire este indicat arcurilor de dimensiuni reduse, executate din oţeluri care se călesc în apă (oţeluri carbon şi oţeluri slab aliate).

Călirea izotermă a arcurilor are drept scop transformarea austenitei la temperatură ridicată în bainită, o structură care dă oţelului caracteristici mecanice superioare, îndeosebi rezistenţă la oboseală, rezilienţă ridicată pentru durităţi de asemenea ridicate. Călirea izotermă constă ilin răcirea rapidă a arcurilor într-un mediu cald a cărui temperatură să asigure transformarea austenitei in bainită (fig. 2.9, curba *3),* după taie urmează o răcire pînă la temperatura mediului ambiant. Durata ilc. menţinere. în mediu cald, care nu trebuie să depăşească temperatura de 450° — mai ales pentru arcurile din oţel susceptibil la fragilitatea de revenire de ordinul doi — trebuie să fie. suficient de mare pentru ca în acest timp să se. termine transformarea izotermică a austenitei. in diagramă se vede că segmentul *cd* taie. atît curba *I* de început, cît si curba *II* de sfîrşit de transformare a austenitei, aşa încît răcirea ulterioară se poate face. cu orice viteză, aceasta nemaiavînd nici o influenţă asupra structurii. O călire izotermă corect condusă în ce. priveşte temperatura şi timpul de menţinere în baia de călire face inutilă operaţia de revenire. Transformarea austenitei făcîndu-se la temperatură ridicată, tensiunile interne care apar sînt reduse, aşa încît arcurile călite in acest mod nu necesită de obicei nici un tratament termic de recoacere

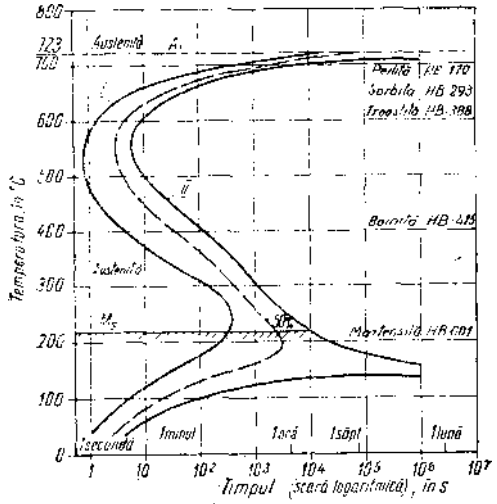


Fig. 2.10

de detensionare. Călirea izotermă se aplică numai oţelurilor aliate, caracterizate printr-o perioadă de incubaţie mare a austenitei (durată mare de stabilitate a austenitei în oţel la temperaturi mult inferioare punctelor critice). Pentru fiecare oţel in parte trebuie să se cunoască curbele transformării izotermice a austenitei în funcţie de care se poate stabili temperatura şi durata menţinerii în baia de călire. în fig. 2.10 sînt date curbele de transformare izotermică a austenitei în cazul unui oţel eutectoid. Curba *I* indică începutul transformării, curba *II* indică sfîrşitul transformării, iar curba întreruptă indică transformarea austenitei în proporţie de 50%. Pe diagramă mai sînt indicate şi structurile care se obţin în cazul călirii izotermice la diferite temperaturi, cu duritatea Brinell corespunzătoare.

2.3. Metale neferoase

2.3.1. Caracteristici generale

Anumite arcuri, cărora li se cer anumite proprietăţi speciale, corespunzătoare condiţiilor de exploatare, se execută din metale neferoase. Dintre acestea, o importanţă deosebită prezintă aliajele de cupru: alămurile, bronzurile şi aliajele cuprului cu nichelul. Aliajele de cupru se împart în două categorii, după modul în care li se pot imprima proprietăţile corespunzătoare funcţionării lor ca arc.

în prima categorie intră aliajele care ajung la proprietăţi elastice şi rezistenţă înaltă în urma durificării prin prelucrare la rece (ecruisare), iar în a doua, aliajele care prezintă posibilităţi de durificare atît prin ecruisare, cît şi prin tratament termic.

în tabela 2.2 sînt indicate compoziţia chimică, caracteristicile mecanice şi fizice, precum şi domeniile de utilizare ale aliajelor de cupru durificate prin prelucrare la rece. Din punct de vedere structural, aceste aliaje nu prezintă solubilităţi limitate între componenţi. Durificarea prin ecruisare implică înfăşurarea arcului la rece, de aceea aliajele respective se pot folosi numai în cazul cînd la formarea arcului nu apar sarcini mari de încovoiere.

Arcurile din aliaje durificate prin ecruisare au proprietăţi elastice reduse, instabile în timp şi, legat de acest neajuns, un histerezis foarte ridicat. Cauza acestor deficienţe rezidă în tensiunile remanente considerabile în material după executarea arcului. Recoacerea de detensio- nare la care sînt supuse arcurile după executare, făcută cu precauţiune ca să nu se distrugă ecruisarea şi deci proprietăţile elastice, nu reuşeşte să elimine complet tensiunile din material. Tensiunile remanente duc nu numai la instabilitatea caracteristicilor arcului în raport cu timpul, dar şi la ruperea arcului după un timp oarecare de funcţionare.

Din gama aliajelor de cupru posibile se folosesc pentru arcuri numai acelea care prezintă în structură constituenţi maleabili care să suporte un grad înalt de ecruisare.

în tabela 2.3 sînt indicate compoziţia chimică, caracteristicile mecanice şi fizice, precum şi domeniile de utilizare ale aliajelor de cupru, care se durifică prin deformări plastice la rece sau prin tratament termic. Arcurile din aliaje de cupru, tratate termic, posedă caracteristici mult mai bune decît arcurile ale căror proprietăţi elastice se datoresc ecruisării.

Prin tratament termic, care constă din călire prin precipitare, se pot durifica unele aliaje de cupru care prezintă în diagramele respective de echilibru limite de solubilitate în stare solidă. Călirea prin precipitare a acestor aliaje constă dintr-o operaţie de punere în soluţie, urmată de o răcire rapidă şi în final de o operaţie de maturizare (îmbătrînire artificială). Operaţia de punere în soluţie constă din încălzirea aliajului peste temperatura de transformare în stare solidă şi din menţinerea un timp suficient la această temperatură, pentru ca un anumit constituent să treacă total în soluţie solidă. Răcirea rapidă care urmează duce la o soluţie solidă suprasaturată. în această stare, materialul prezintă o mare plasticitate, fapt care permite folosirea lui la executarea elementelor elastice de formă complexă, cum ar fi burdufurile şi membranele gofrate. După operaţiile de confecţionare, elementele elastice se supun operaţiei de îmbătrînire artificială, care constă din reîncălzirea aliajului în vederea precipitării unui anumit constituent din soluţia solidă suprasaturată. Structura rezultată corespunde unei dispersii fine a unui constituent dur într-o masă plastică de soluţie solidă, care dă materialului proprietăţi elastice superioare şi o rezistenţă comparabilă cu a otelurilor călite şi revenite.

Aliajele călibile, comparativ cu cele durificabile prin ecruisare, avînd caracteristici

mecanice superioare, sînt utilizate pe o scară mai largă. Din ele se pot fabrica arcuri cu condiţii severe de înfăşurare, fără pericol de rupere, deoarece durificarea urmează după înfăşurarea arcului.

De asemenea, aliajele călibile au foarte mici imperfecţiuni în ce priveşte variaţia proprietăţilor elastice în raport cu timpul, ceea ce se explică prin eliminarea practic completă a tensiunilor remanente în timpul încălzirii pentru maturizare. Aceste arcuri prezintă o durificare mult mai omogenă în volum.

Aliaje pe liazA <io cupru durificate

Materialul	Compoziţia chimică, %	Conductivitate electrică la 20°C, raportată la cupru pur, %	Limita de proporţionalitate, kgf/mm*	Limita de curgere, kgf/mm²	Rezistenţa la rupere, kgf/mm²	Modulul de elasticitate xIO³,	Modulul de elasticitate transversal xio% kgi/mm*
Cupru	Cu 99,9	98	21,8	31,2	40	11,6	3,88
Alamă	Cu 70 Zn 30	25	31	54.5	08	9,5	3,25
Alamă cu nichel (Neusilbcr)	Ni 18	0,3	35,6	54,2	70	13	4
Bronz fosforos	Cu 94,7 Sil 5,3	16	47	66,5	7-! ,5	10,6	3,88—4,5
Bronz i'osloros	Cu 93,3 Sn 0,7	13,4	62	80,5	87,5	10,6	3,88—4,5
Bronz cu conductivitate ridicată	Cu 99 Sn 1	50—55	23,4	46,5	5S,5	11,6	—
Bronz cu siliciu	Cu 96 Si 3 -M n 1	6,7	31	62	71	10	—
Bronz cu cadmiu	Cu 99 Cd 1	85	23,2	47	59	11,6	—
Moncl	Ni 60—70 Fe 2—3 Mn 1,20-1.80 Cu restul	3,7	16	39 J 71 — 77,5		11,8	6,5

iln |»ri‘lucrarr la rece

Aliaje pe bază de cupru durificate prin

l Mirilatea Krincll, liKf/mm³	o	obos< Număr de cicluri X 10“	■n I.ı Rezistenţa	Observaţii
1 10	[9,8	300	7,0	
I NO	20	300	10,1	Tras sau laminai la rece. Proprietăţi antieorosive: rezistenţa la vapori supraîncălziţi şi CO2. Nu rezistă la $HnS0_4$. ConducLibilitate electrică bună
1 MII-— 220	20—:JO	100	16.1	Tras sau laminat la rece. Proprietăţi antieorosive mai bune decît alama.
220	10—15	100	15,8	Tras sau laminat la rece. Arcuri cu proprietăţi antieorosive mai bune decît ale arcurilor din alamă: rezistă soluţiilor slab acide, 20% $HaS0_4$. 1.imita elastică, rezistenţa mecanică şi rezistenţa la oboseală ridicate.
2 10	10	100 j 12		
1 20	10—io	—	—	Tras sau laminat la rece. Arcuri cu eonducti- vilate electrică ridicată. Proprietăţi anticoro- sive.
ISO	20—30	100	12,5	Tras sau laminat la rece. Arcuri ieftine, înlocuiesc arcurile din bronz fosforos.
120	10		—	Tras sau laminat la rece. Arcuri cu conductivitate electrică bună, apropiată de a cuprului, însă cu rezistenţa mecanică mai mare decît a acestuia.
IM H >— 220	—	200	23	Tras sau laminat la rece. Arcuri cu rezistenţă înaltă. Proprietăţi antieorosive: rezistă la apă de‘mare, vapori supraîncălziţi, CO2, CI, soluţii slab acide de $H2S0_4$, substanţe alcaline.

Materialul	Compoziţia chimică, %	Conducti-vitate electrică raportată la Cu pur, %	Limita de proporţio-nalitate, kgf/mm⁵	Limita de curgere, kgf/mm¹	Rezistenţa la rupere, kgf/mm²	Modul de elasticitate XlO*, kgf/mmˢ

Aliaje pe bază de cupru durificate prin

Alamă specială	Cu 72 Ni 6 Al 1,5 Zn 20,5	15,6	10	70	85	11
Bronz cu crom	Cr 0,6—0,85 Cu 99—99,4	80—85	23—4	46,8	55,5	12
Bronz cu aluminiu	Cu 88,9 Al restul	6,7	45	70	80	11,6
Bronz cu beri- liu	Be 2 Co 0,5 Cu 97,5	25—30	75	100	116—140	11,6—13
Monel K	Ni 66 Cu 29 Al 5	28	62	93—116	116—130	16,8
Nichel Z	Ni 98 Cu, Mn, Fe, Si 2	4	73	114	140	21

2;3.2. Alămuri pentru arcuri

Acestea cuprind alămurile industriale şi alămurile speciale, utilizabile la fabricarea arcurilor.

Alămurile industriale, utilizate la execuţia arcurilor, conţin 10—37% Zn, restul Cu. Zincul adăugat cuprului măreşte duritatea şi rezistenţa la rupere; adaosul este limitat de. faptul că la un conţinut mai mare de 45% Zn, apare un constituent fragil.

Arcuri cu caracteristici bune se obţin din aliaje cu conţinut de zinc cuprins între 30—33%.

In STAS 95-59 sînt prevăzute alămurile laminabile, dintre acestea însă, ca material pentru arcuri nu se pot folosi decît alămurile cu sim bolurile Am70 şi Am72.

Tabela 2.1

M'mlii 1 de htillcitate 11 iinsvorsal 10',	Duritatea Brinell, kgf/mm²	Alungirea, %	Rezistenţa la oboseală Numărul de cicluri X'O* 1 kgf/mm²	Rezistenţa	Observaţii
1	157	20	300	12,8	Tratate termic. Arcuri cu proprietăţi antieorosive şi caracteristici mecanice bune
•1,5	150	10	300	15,8	Tratate termic. Conductivitate electrică comparabilă cu a cuprului, însă mai rezistent ca acesta
	200	7	100	16	Tratate termic. Arcuri cu proprietăţi antieorosive; rezistă mai ales la apa de mare. Sînt ieftine.
1,6—5,5	350	10	300	20	Tratate termic. Arcuri cu proprietăţi antieorosive chiar la temperatura de 150°C. Conductivitate electrică bună
6	330	—	20	23	Tratate termic. Idem ca la aliajul Monel, în plus caracteristici mecanice înalte
5	—	—	—	—	Tratate termic. Păstrează proprietăţile elastice şi mecanice chiar la temperatură ridicată

antieorosive slabe, dar mai bune decît oţelurile obişnuite de arcuri; sînt stabile în apă dulce, apă de mare, aburi şi $C0_2$.

Arcurile din alamă, deşi ieftine, nu au o utilizare largă, deoarece nu prezintă o siguranţă în funcţionare din cauză variaţiei proprietăţilor elastice cu timpul şi din cauza pericolului de fisurare.

Alămurile speciale folosite, la executarea arcurilor sînt alămurile cu nichel. Nichelul măreşte duritatea elementului de bază, a cuprului, fără însă a-i micşora alungirea. De asemenea, măreşte, rezistenţa la tracţiune, rezilienţa şi rezistenţa la coroziune.

în STAS 3439-52 este standardizată sîrma de alamă cu nichel pentru arcuri, avînd următoarea compoziţie: 58% Cu; 34—39,8% Zn; 3,5% Ni; Pb<0,5%, A1<0,1%, Fe<0,2%, 0,2% diferite impurităţi.

Arcurile din acest aliaj rezistă la aceleaşi medii corosive la care rezistă şi alămurile industriale, însă în concentraţii mai mari prezintă caracteristici mecanice, mai bune, mai ales în ce priveşte stabilitatea proprietăţilor elastice în timp. Sînt supuse şi ele pericolului fisurării în timpul funcţionării datorită tensiunilor remanente.

Aliajul Neusilber (18—28% Zn; 13,5 — 19% Ni, restul cupru) are proprietăţi antieorosive bune atît la temperatura obişnuită, cît şi la temperaturi ridicate. în general, un conţinut mai mare de 10% nichel dă alamei o culoare, albă şi proprielatea de a se lustrui bine. Nichelul scumpeşte insă foarte mult materialul. în STAS 1096-50 este standardizat materialul cu

simbolul APC 55.18, care corespunde acestui aliaj.

Aliajul Neusilber se foloseşte frecvent la fabricarea arcurilor de telefon, datorită faptului că are un modul de elasticitate mai mare decît al celorlalte alămuri, asigurind prin aceasta o presiune de contact foarte bună.

Alama specială cu adaos de aluminiu (20,5% Zn, 6% Ni, 1,5% Al, restul cupru) are o rezistenţă la tracţiune mai mare decît a celorlalte alămuri şi o rezistenţă la coroziune superioară, datorită prezenţei aluminiului. Aliajul respectiv putînd fi tratat termic, arcurile nu sînt afectate de defectele provocate de tensiunile remanente (tensiuni apărute la formarea arcului).

2.3.3. Bronzuri pentru arcuri

Bronz fosforos. Staniul adăugat cuprului îi măreşte rezistenţa la rupere, duritatea şi rezistenţa la uzură, îi micşorează însă rezilienţa şi alungirea. Aliajele care se folosesc la fabricarea arcurilor conţin sta- niu în proporţie de 5—9%.

în STAS 93-62 sînt indicate, ca aliaje de bronz cu staniu pentru arcuri, aliajele Bz6 şi Bz8.

în general arcurile din bronz fosforos sînt destinate să lucrez in medii corosive; sînt mai rezistente la coroziunea apei de mare, la soluţii slab acide în general şi la aburi decît alămurile.

Prezintă, de asemenea, o bună rezistenţă mecanică, rezistenţa la oboseală şi o limită elastică ridicată.

Aliajul respectiv se durifică numai prin tratament termic.

Aliajele cu 1% Sn sînt indicate, pentru execuţia arcurilor cu con- ductibilitatea electrică mare, însă sub sarcini nu prea mari.

Bronz (*u siliciu. Siliciul intră în componenţa bronzurilor ca înlocuitor al staniului, în scopul obţinerii unui bronz mai ieftin. Materialul pentru arcuri se elaborează cu un conţinut de 2—5% Si. Un adaos scăzut de mangan îi îmbunătăţeşte proprietăţile.

în general, arcurile din bronz cu siliciu, acolo unde condiţiile de lucru nu sînt prea severe, înlocuiesc cu succes arcurile din bronz cu staniu (bronz fosforos).

Bronz cil cadmiu şi bronz cu crom. Atît cadmiul, cît şi cromul, în procente reduse (în jur de 1%) măresc rezistenţa la rupere a cuprului, iară a-i micşora sensibil conductibilitatea electrică. Arcurile respective se utilizează acolo unde se cere o conductibilitate electrică ridicată în condiţii de solicitări mecanice importante.

Bronz cu aluminiu. Aluminiul măreşte rezisLenţa la coroziune, rezistenţa la rupere şi duritatea, fără a micşora sensibil alungirea.

Conţinutul în aluminiu nu poate depăşi procentul de 10%, peste care bronzul devine fragil. în tabela 2.3 se dau caracteristicile aliajului corespunzător compoziţiei 88,9% Cu şi 11,1% Al, supus unei căliri la 900°C, urmată de o operaţie, de maturizare la 500°C.

Bronzul de aluminiu laininabil este standardizat conform STAS 203-53.

Arcurile din bronz de aluminiu se folosesc pentru rezistenţa lor la coroziune, mult superioară arcurilor din alamă sau bronz fosforos. Ele rezistă la acţiunea bioxidului de carbon, a acizilor organici; în apa de mare prezintă o stabilitate comparabilă cu arcurile din cele mai bune oţeluri inoxidabile. Sînt mai puţin rezistente faţă de. baze şi mai ales faţă de acizii minerali concentraţi.

Bronzurile de aluminiu sînt mai puţin deficitare decît bronzurile cu staniu corespunzătoare.

Bronz eu beriliu. Aliajele de cupru şi beriliu, denumite şi bronzuri ✗ cu beriliu, prezintă un interes deosebit la fabricarea arcurilor, cărora le transmite calităţi superioare.

Conţinutul în beriliu al acestor bronzuri este de 2—3%; un adaos de cîteva procente de nichel, cobalt sau siliciu favorizează obţinerea unei structuri fine.

Pentru orientare, în tabela 2.3 sînt indicate caracteristicile mecanice şi fizice ale aliajului cu compoziţia: 97,5% Cu; 2% Be; 0,5% Co.

Valorile caracteristicilor mecanice şi fizice corespunzătoare aliajului indicat se referă la materialul călit în apă la 800°C, iar apoi supus unei îmbătrîniri artificiale la 350°C.

Arcurile din bronz de beriliu se folosesc ca:

— arcuri care lucrează în medii corosive (apă sărată, majoritatea bazelor, acid acetic, sărurile acidului sulfuric, mercur) şi sub sarcini variabile;

— arcuri pentru aparate de precizie, avind proprietăţi elastice ridicate, stabile în timp şi la temperatură ridicată; solicitările la temperaturi de 150—200°C pot fi aplicate timp nelimitat fără o micşorare a rezistenţei;

— arcuri pentru diferite aparate electrice, avînd o bună conducti- bilitate electrică;

— arcuri rezistente la oboseală; arcuri la care survin pierderi reduse datorită histerezisului elastic;

— arcuri de ceasornice, amagnetice, arcuri manometrice, tuburi gofrate, membrane şi capsule.

Preţul de cost ridicat limitează însă utilizarea arcurilor din bronz de beriliu.

2:3.4. Aliaje Cu-Ni pentru arcuri

Aliajul Monel. în tabela 2.2 sînt date compoziţia chimică, precum şi caracteristicile mecanice şi fizice obţinute în urma prelucrării la rece a acestui aliaj.

Arcurile din aliajul Monel sînt folosite datorită rezistenţei lor la coroziune, datorită rezistenţei la oboseală şi remarcabilelor proprietăţi elastice care se păstrează pînă la temperaturi de 200°C.

Aliajul Monel — K. Adăugind aliajului Monel 3—6% Al şi aplicîn- du-i tratamentul termic corespunzător de călire prin precipitare, pe lîngă proprietăţile caracteristice materialului de. bază, se obţine o rezistenţă şi o duritate înaltă, fără ca alungirea să se micşoreze.

Aliajul Niehel —Z. Acest aliaj cuprinde circa 98% Ni, iar în rest diferite adaosuri de cupru, mangan, fier şi siliciu. Este folosit la fabricarea arcurilor datorită proprietăţilor lui elastice superioare, pe care le păstrează chiar la temperaturi ridicate.

2.3.5. Semifabricate din aliaje de cupru

Semifabricatele din aliaje de cupru, avînd diferite grade de durităţi, se folosesc în funcţie de natura aliajului şi condiţiile de execuţie a arcului.

La aliajele durificabile numai prin ecruisare, semifabricatul trebuie să posede deja caracteristicile mecanice impuse arcului, care se obţin prin deformarea materialului la rece.

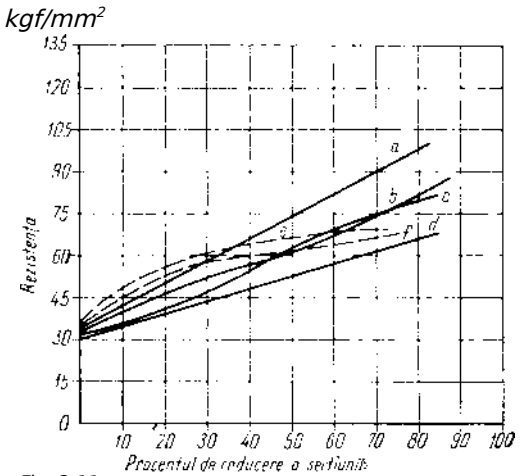
în diagrama din fig. 2.11 se dau relaţiile de legătură dintre reducerea procentuală a secţiunii şi creşterea rezistenţei materialului pentru o sîrmă *(a)* şi o lamelă *(b)* din bronz fosforos cu 6% Sn, pentru o sîrmă

(c) şi o lamelă *(f)* de alamă cu 70% Cu şi 30% Zn şi pentru o sîrmă

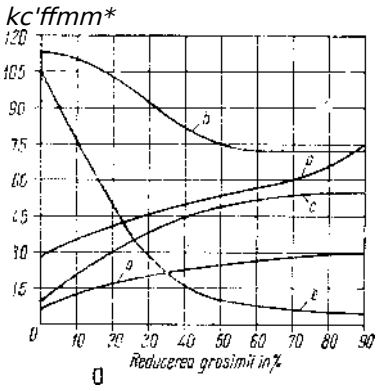
(d) şi o lamelă (*e*) de Neusilber cu 18% Ni.

(e)

în diagrama din fig. 2.12, *a* se arată legătura între reducerea procentuală a secţiunii semifabricatului şi variaţia caracteristicilor mecanice (rezistenţa la rupere — a, reducerea suprafeţei secţiunii în procente — b, limita de elasticitate — c, limita de proporţionalitate — d» a lungirea — e), pentru o lamelă de alamă cu 70% Cu şi 30% Sn. în l'ig. 2.12, *b* se dă aceeaşi relaţie de legătură, însă în funcţie de duritatea alamei.



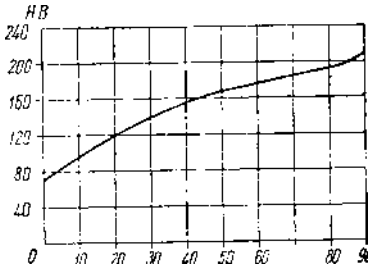
Fie. 2.11



0

10203040506070 Reducerea grosimii,în⁶/ b

Fig. 2.12



Semifabricatele din categoria aliajelor care se clarifică prin deformare la rece sau prin tratament termic se folosesc:

— în stare durificată, atunci cînd solicitările la executarea arcului permit;

— în stare moale sau parţial ecruisat, cînd condiţiile de înfăşurare sînt mai severe, proprietăţile mecanice corespunzătoare urmînd să fie imprimate materialului în urma călirii prin precipitare.

Semifabricatele pentru arcuri din aliaje de cupru, durificate prin prelucrare la rece, sînt standardizate conform STAS 3439-52. STAS 93-62 şi STAS 1096-60.

în STAS 3439-52 sînt date caracteristicile mecanice, diametrele, greutatea în funcţie de diametru, precum şi abaterile limită la diametrele sîrmei de alamă — pentru arcuri avînd următoarea compoziţie chimică: 58% Cu, 34...39,8% Zn, 3,5% Ni, restul impurităţi.

în STAS 1096-60 sînt standardizate semifabricatele din alpaca (în denumirea de alpaca intră aliajele cunoscute şi sub numele de Neusilber, Maillchort etc.).

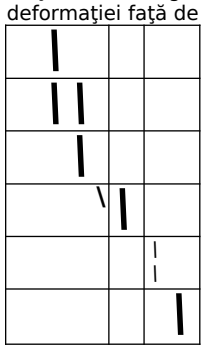
2.3.6. Caracteristicile arcurilor din aliaje de cupru

Comportarea arcurilor la temperatura normală de lucru se caracterizează, aşa cum s-a mai arătat, printr-o nestabilitate a anumitor caracteristici. La majoritatea aliajelor de cupru nestabilitatea modulului de elasticitate, a poziţiei de zero a arcului, a modului de redare a energiei (prezenţa histerezisului elastic) etc. sînt foarte accentuate, fapt de care trebuie să se ţină seama la proiectare. în diagrama din fig. 2.13 se dă variaţia modulului de elasticitate în funcţie de efortul unitar pentru un bronz fosforos cu 5% Sn (dreapta *a)* şi o alamă cu 70% Cu şi 30% Zn (dreapta *b).*

Relativ la schimbarea poziţiei de zero a arcului în diagrama din fig. 2.14 se dă relaţia de legătură dintre valorile temperaturii de lucru şi timpul, în ore, necesar pentru desfăşurarea arcului cu un grad, în cazul unui aliaj de bronz fosforos.

în diagrama din fig. 2.15 este reprezentată relaţia dintre timpul de încărcare a unui arc din bronz de beriliu şi abaterea în procente a defor-

inaţiei; iar în diagrama din fig. 2.16 se dă relaţia dintre timpul de revenire şi abaterea în % a deformaţiei faţă de linia de zero, pentru bronz



kgf/mm²

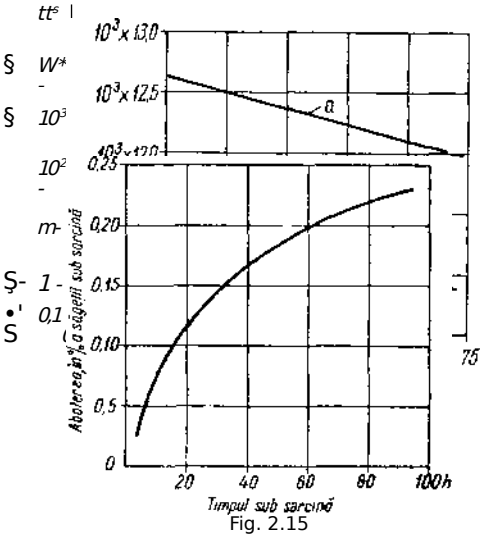


Fig. 2.15

de încărcare de 25 de ore, curba *b* pentru 5 ore şi

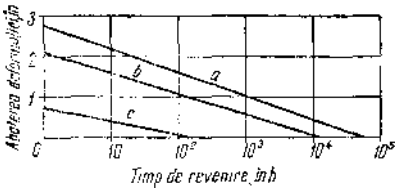


Fig. 2.16

Fig. 2.13

O caracteristică foarte importantă a arcurilor din aliaje de cupru este stabilitatea relativ mai bună a modulului de elasticitate la tempe-

râturi ridicate, în comparaţie cu a arcurilor din oţel. In diagrama din fig. 2.17 este reprezentată variaţia modulului de elasticitate transversal în funcţie de temperatură în cazul unui aliaj de bronz fosforos (curba ~~a)~~ şi a unei alame (curba ~~b).~~

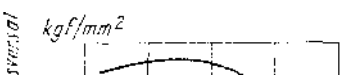
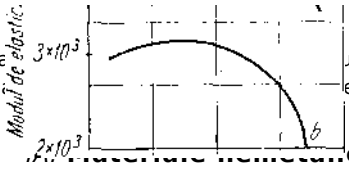


Fig. 2.17

Temperatura de lucru a arcurilor din aliaje de cupru poate atinge valori mai mari ca cea de regim, pentru perioade scurte de timp, fără a se produce deteriorarea arcului.

Temperaturile de lucru admise pentru un interval de timp de 15 min sînt: bronz de cadmiu, 200°C; Neusilber, 250°C; Monel, 400°C; bronz de beriliu, 300°C; Moneî ~~K,~~ 500°C; nichel - Z, 500°C; alamă cu aluminiu şi nichel, 400°C. Aliajele de cupru durificate prin tratare la temperaturi de lucru mult mai mici decît cele recruisaj.



Materiale nemetalice

Din această categorie de materiale la executarea elementelor elastice se utilizează îndeosebi: cauciucul, cuarţul şi masele plastice.

Sticla de cuarţ se foloseşte datorită histerezisului ei deosebit de mic, datorită proprietăţilor ei elastice foarte bune, datorită constanţei modulului de elasticitate în raport cu temperatura şi datorită proprietăţilor ei antieorosive. Prezintă inconvenientul de a fi casantă, fapt care limitează de altfel folosirea acestui material. Din sticlă de cuarţ se pot executa elemente elastice de diferite forme: arcuri plate şi elicoidale, membrane şi arcuri tubulare.

Dintre materialele plastice, la executarea membranelor elastice şi a burdufurilor se foloseşte mai ales fluoroplastul. Nu este atacat de acizi, baze, oxidanţi şi de alte medii agresive. încălzit pînă la 200°C, nu prezintă o modificare sensibilă a rezistenţei. Principala deficienţă a fluoro- plastului o constituie modificarea modulului de elasticitate în funcţie de temperatură.

Utilizare foarte largă în executare elementelor elastice o au diferitele tipuri de cauciuc. Comparativ, cauciucul natural are proprietăţi elastice superioare cauciucului sintetic. în schimb, sub acţiunea luminii,;i căldurii, a oxigenului din aer, a unor agenţi cum ar fi uleiurile sau benzina, cauciucul natural îşi pierde proprietăţile elastice. Cauciucul sinteletic este mai puţin sensibil la aceste influenţe şi tinde să înlocuiască cauciucul natural ca material pentru arcuri. Arcurile de cauciuc se exe- î nlă din blocuri, plăci şi tuburi de cauciuc, combinate cu piese metalice de armare.

Cauciucul nu urmează legea lui Hooke. I se poate aplica, însă, o relaţie asemănătoare:

$$a=G\,[s+l\text{-}^{-}l^{\wedge}],$$

in care:

a este efortul unitar de întindere sau de compresiune;

s — a lungirea relativă;

G — modulul de elasticitate transversal.

Pentru cauciucul natural, relaţia se poate aplica pînă la alungiri de aproximativ 300%. La alungiri mai mari se produce un fenomen de „recris- lalizare", care face ca valoarea efortului unitar a să crească brusc. în ce priveşte temperatura, relaţia este valabilă între — 30°C şi+100°C.

Caracteristicile mecanice ale cauciucului sînt cu totul deosebite ca valoare de cele ale oţelurilor şi, în general, de cele ale metalelor. Astfel, rezistenţa de rupere a cauciucului moale este de aproximativ 200 kgf/cm^2,

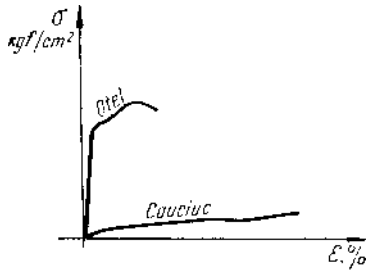


Fig. 2.18

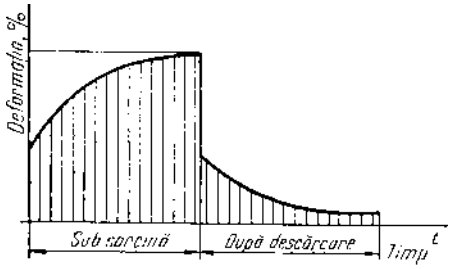
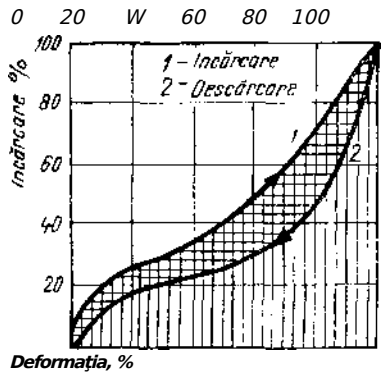


Fig. 2.19

alungirea relativă maximă a aceluiaşi material, de aproximativ 550%, iar modul de elasticitate £=40...80 l;gf/cm^2. Diagramele a—e pentru oţel şi cauciuc din fig.2.18, trasate la aceeaşi scară, arată această deosebire.

Efectul elastic întîrziat. După aplicarea sarcinii, deformaţia pieselor de cauciuc continuă să crească, După aproximativ 10 minute, variaţia deformaţiei devine neglijabilă. Analog, la descărcare, deformaţia nu dispare complet, ci treptat (v. fig. 2.19). Acest fenomen este uneori

Jenumit şi „curgere rece“. El este, de fapt, comun tuturor materialelor, cu deosebirea că la multe este atît de redus, încît poate fi neglijat la temperatura normală, ca de exemplu la oţel. în legătură cu acest fenomen apare necesitatea precizării noţiunii de „modul de elasticitate*'



pentru cauciuc. Modulul de elasticitate static la cauciuc este cel care corespunde valorii finale a defor- maţiei (după aproximativ 10 min de la aplicarea sarcinii). în cazul sarcinilor variabile periodic, calculul trebuie să se efectueze ţinînd seama de modulul de elasticitate dinamic, de valoare mai mare decît modulul de elasticitate static şi influenţat de frecvenţă. în practică se ia:

$$Ed—QE_st<$$

unde coeficientul dinamic () = 1...1,25.

Fenomenul de histerezis elastic pronunţat este caracteristic cauciucului. Presupunînd o încărcare şi o descărcare lentă şi progresivă, se obţine diagrama încărcare-deformaţie din fig. 2.20. Lucrul mecanic corespunzător ariei cuprinse între curba de încărcare şi cea de descărcare (haşurată în fig. 2.20) nu mai poate fi recuperat. Pierderea datorită fenomenului de histerezis depinde atît de viteza deformaţiei, cît şi de frecvenţa sarcinii. Cu cît frecvenţa este mai mare, cu atît se micşorează pierderile.

Datorită fenomenului de histerezis şi efectului elastic întîrziat, apare factorul de amortizare al cauciucului, care este mult mai mare decît cel al oţelului. în consecinţă, pericolul de rezonanţă, pentru sistemele cu arcuri din cauciuc, este redus.

Temperatura influenţează negativ asupra calităţilor cauciucului: atît modulul de elasticitate, cît şi rezistenţa de rupere scad cu creşterea temperaturii. Coeficientul de dilataţie liniară a cauciucului este:

$$a = (l\ ,6...2)\ IO"^4.$$

Arcuri în foi

3.1. Arcuri lamelare

3.1.1. Generalităţi

Arcurile lamelare sînt construite dintr-o singură foaie sau lamelă de arc, a cărei fibră medie poate fi după o linie dreaptă sau după o curbă oarecare. O astfel de lamelă este prinsă de obicei la un capăt printr-un sistem de încastrare, în timp ce la capătul liber acţionează sarcina care solicită arcul.

Modul de prindere a lamelei la capete poate fi realizat în foarte multe feluri. Se întîlnesc numeroase arcuri lamelare încastrate la ambele capete sau simplu rezemate la ambele capete.

O primă categorie de arcuri lamelare o constituie acele arcuri la care de- formaţiile datorite încovoierii se pot considera relativ mici faţă de lungimea lamelei, forma deformată fiind relativ apropiată de cea nedeformată.

O a doua categorie de arcuri lamelare o constituie acele arcuri la care deformaţiile datorite încovoierii sînt relativ mari, astfel încît sub sarcină arcul lamelar ia forme foarte diferite.

3.1.2. Arcuri lamelare cu deformaţii mici

Arcurile lamelare cu deformaţii mici se utilizează, în general, în mecanisme şi dispozitive la care forţa de solicitare nu este prea mare. Cea mai mare utilizare a acestor tipuri de arcuri lamelare se întîlneşte la construcţia aparatelor şi instrumentelor de. măsură, precum şi la construcţia dispozitivelor.

Exemple de utilizare a acestor tipuri de arcuri lamelare sînt indicate în fig. 3.1, lamelele de contact de la releele electromagnetice; în fig. 3.2,

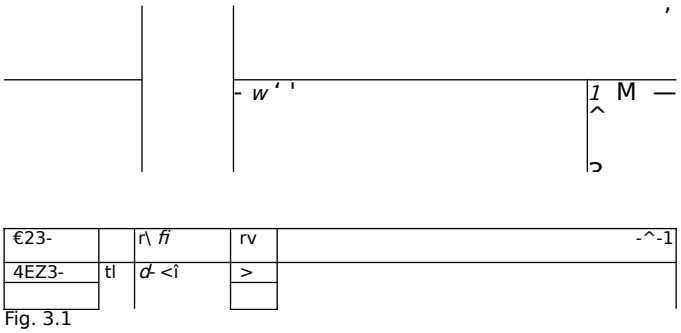


Fig. 3.1

arcurile lamelare folosite la un controler cu tobă şi în fig. 3.3, arcul lamelar folosit la apăsarea unei pene mobile.

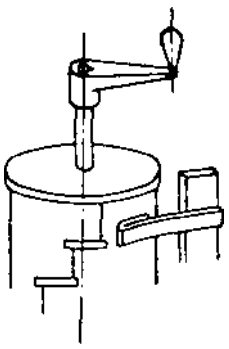


Fig. 3.2

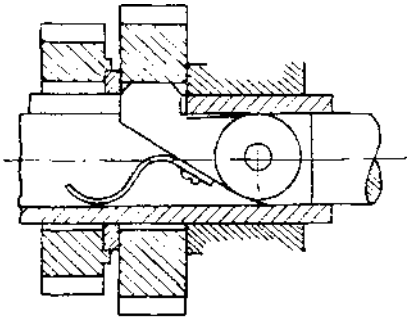


Fig. 3.3

Arcurile lamelare se pot întîlni şi ca arcuri cu scop de suspensie elastică şi de acumulare de lucru mecanic ca, de exemplu, la ciururile de la batoze sau arcul de suspensie de la scaunul tractoristului etc.**3.1.2.1. Arcul lamelar încastrat la un capăt**

Arcurile lamelare încastrate la un capăt şi încărcate cu o sarcină concentrată la celălalt capăt, care au în stare nedeformată fibra medie
o linie dreaptă, sînt cele mai simple. în practică se întîlnesc foarte multe variante constructive de arcuri lamelare, cele mai utilizate tipuri fiind însă: arcul lamelar dreptunghiular, arcul lamelar
triunghiular şi arcul lamelar trapezoidal. Arcurile lamelare pot avea pe toată lungimea lor secţiunea constantă sau variabilă. Această variaţie a secţiunii poate fi liniară sau parabolică. Deoarece, în principiu, desfăşurarea calculului pentru aceste arcuri este aceeaşi, în tabela 3.1 sînt arătate calculele principalelor elemente.

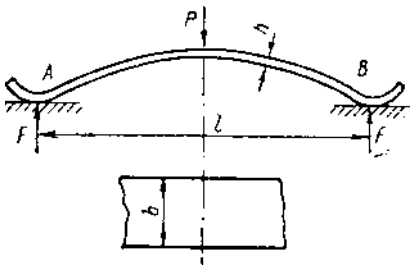
3.1 .2.2. Arcul lamelar dreptunghiular cu braţ dublu

Acest tip de arc se execută dintr-o lamelă dreptunghiulară, puţin curbată şi prevăzută la capete cu două îndoituri de reazem (fig. 3.4). Arcul lamelar de acest tip se foloseşte ca arc de apăsare continuă în capetele *A* şi *B,* sub acţiunea forţei *P,* aplicată în mijlocul lamelei, în timpul funcţionării, curbura lamelei variază.

Folosind notaţiile din figura 3.4 se pot determina relaţiile principale, necesare dimensionării unei astfel de lamele. Astfel, efortul unitar maxim la încovoiere, în mijlocul lamelei, este:

$$\sigma_{imax} = \frac{3F}{1,5\,Pl} \quad .$$

Săgeata arcului în dreptul forţei *P* aplicată la mijlocul lamelei este dată de relaţia:



$$f = \frac{24EI'}{} \quad <^{3,2})$$

Fig. 3.4

sau ţinînd seama de relaţia (3.1)

$$r = \frac{1}{\sigma_{imax}} \quad (3.3)$$

Lucrul mecanic al forţei *P* este acumulat ca energie de deformaţie şi este dat de relaţia:

$$L = \hat{} - = W = \hat{} V \hat{} p . \qquad (3.4)$$

3.1.2.3. Arcul* lamelar dreptunghiular dublu încastrat

Acest tip de arc se execută dintr-o lamelă dreptunghiulară care se încastrează la ambele capete (fig. 3.5). Prin modul lui de utilizare, indicat şi în figură, el poate fi asimilat cu două arcuri lamelare dreptunghiulare simplu încastrate, puse cap la cap. Folosind notaţiile din figură se pot determina relaţiile de calcul:

— pentru săgeată

(3.5)

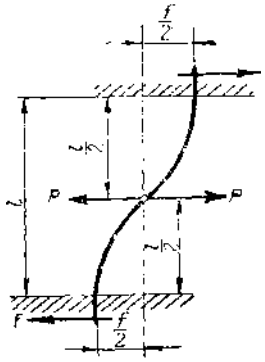


Fig. 3.5

— reacţiunea din încastrare *F* este egală cu forţa de încărcare *P* determinată cu relaţia următoare:

(3.6)

— energia de deformare acumulată de întregul arc

$$W = \hat{} V — jp \qquad (3.7)$$

Rezultă un coeficient de utilizare volumetric specific =0,111, ca şi în cazul arcului lamelar simplu încastrat la un capăt.

3.1.2.4. Arcuri lamelare ^curbe

în foarte multe dispozitive şi mai ales în construcţia aparatelor şi a instrumentelor se întîlnesc arcuri lamelare care au linia medie curbă, în cele ce urmează vor fi luate în considerare acele arcuri pentru care, sub acţiunea forţelor, deformaţiile arcului sînt relativ mici, astfel că alura arcului deformat nu este schimbată faţă de alura arcului nedeformat. Calculele necesare pentru dimensionarea şi pentru determinarea deformaţiilor (săgeţilor) la aceste tipuri de arcuri se fac după metodele.

Elemente de calcul	Simbolul	Unităţi	Relaţie de definiţie
Secţiunea transversală în x	*A-x*	cm^2	*A*
Momentul de inerţie In x	*Iz*	cm^4	*I*
Momentul de încovoiere în x	M_x	kg -cm	*M= P(l—x)*
Derivata a doua a curbei elastice	*y"*	**1** / cm	$* \frac{M}{EI}$
înclinarea	*y'*	rad	$y' = \int y'dx$ **0**
Kcuaţia librei medii deformate (curbei elastice)	*y*	cm	$y = \int y'dx$ **0** **.X**
			Mh E _

obişnuit folosite în calculul barelor curbe. Deoarece în practică se întîl- nesc curent anumite tipuri de arcuri lamelare curbe, în tabela 3.2 sînt indicate relaţiile de calcul pentru astfel de arcuri.

3.1.2.5. Arcuri în bucle plane multiple

Arcurile in bucle plane multiple, solicitate la încovoiere (fig. 3.6), pot fi folosite ca arcuri de compresiune, tipul ~~A,~~ sau ca arcuri de întindere, tipul ~~B.~~ Acest tip de arc are o caracteristică liniară şi poate fi utilizat în aceleaşi scopuri ca şi arcul elicoidal cilindric. Calculul exact al acestui tip de arc se face după metodele de calcul utilizate pentru barele curbe. Pentru un calcul aproximativ, satisfăcător cerinţelor practicii, se folosesc relaţii aproximative care dau erori sub 3%.

In acest caz se consideră că porţiunile de la capetele arcului sînt inactive şi nu se deformează, porţiunea activă fiind considerată cea cuprinsă între punctele ~~a~~ şi ~~b~~ indicate în figură; Echivalent spirei de la arcul elicoidal, la aceste arcuri este o buclă sau o ramură care este compusă dintr-o porţiune dreaptă şi din cele două sferturi de cerc racordate la capetele porţiunii drepte. Majoritatea arcurilor de acest tip se confecţionează din sîrme sau din bare de secţiune circulară sau pătrată. Pentru calcul se folosesc următoarele notaţii:

d — diametrul sîrmei de secţiune circulară sau latura pătratului; E — modulul de elasticitate al materialului din care este confecţionat arcul;
I — momentul de inerţie al secţiunii transversale a sîrmei;
P — forţa (sarcina) care acţionează asupra arcului;
R — raza de curbură;
l — lungimea porţiunii drepte; y — săgeata corespunzătoare unei ramuri; a — unghiul iniţial între porţiunile drepte; G — efort unitar total.
k — raportul de formă al arcului.

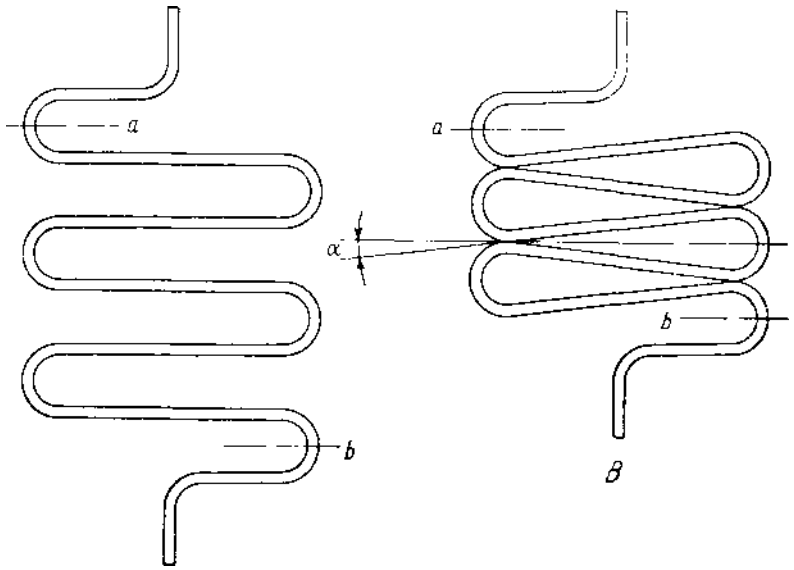
Relaţiile de calcul aproximativ care pot fi utilizate în practică, pentru determinarea săgeţii şi pentru dimensionare, asigurînd o eroare de 3%, sînt:
— pentru săgeata

— **!<-T?fi(^+⁹-⁴³-£+²⁴-S;+¹⁸.⁸⁵)**efortul unitar pentru secţiunea circulară (3,8)

1,28

<r= *P-* (3.9a)

L



A *B*

Fig. 3.6

— efortul unitar pentru secţiunea pătrată

$$\sigma = P \cdot \frac{\dots}{\dots} \qquad (3.9b)$$

în aceste relaţii s-a neglijai influenţa unghiului de înclinare iniţială a, care s-a considerat zero; prin aceasta, eroarea în calcule nu depăşeşte 3%.

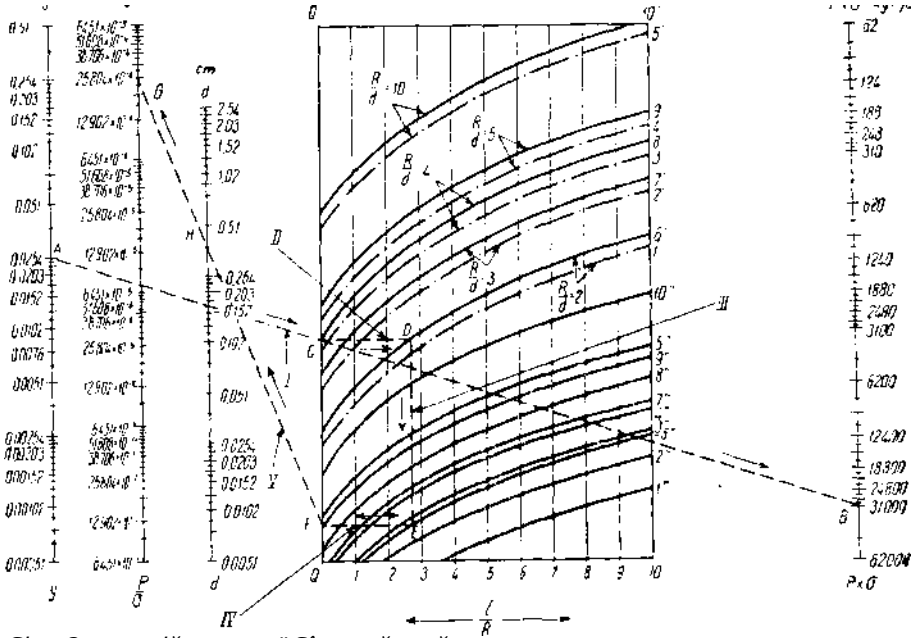


Fig. 3.7

Pentru un calcul mai rapid se utilizează nomograme din care se pot determina direct rezultatele dorite. în fig. 3.7 este reprezentată o astfel de nomogramă de calcul.

Această nomogramă serveşte la determinarea diametrului d şi a raportului de formă al arcului cunoscînd săgeata repartizată pe o ramură (spiră), efortul unitar admisibil şi forţa P care acţionează arcul. In nomogramă sînt reprezentate la scară valorile săgeţii y, diametrului P

sîrmei d, raportului $\frac{p}{R}$ şi produsului $p \cdot a$, precum şi curbele de calcul stabilite în funcţie de rapoartele $k = \frac{l}{R}$ şi $\frac{p}{}$. Se uneşte cu o dreaptă punctul B care indică pe scara respectivă valoarea produsului $p \cdot a$, cu punctul A care indică pe scara săgeţilor valoarea săgeţii. Această dreaptă intersectează în C latura verticală a nomogramei. Se duce din C o orizontală care intersectează curbele indicate de raportul $\frac{p}{}$, şi se alege punctul D în funcţie de acest raport. Din punctul D se duce o verticală DE pînă la caracteristica secundă a aceluiaşi raport $\frac{p}{}$, care este numerotată cu acelaşi număr de ordine şi indicaţia secund ("). Din punctul E astfel determinat se duce orizontala EF la marginea din stînga a diagramei. Se uneşte punctul F astfel determinat cu punctul C corespunzător de pe scara raportului $\frac{p}{}$ cu o linie drepată. Punctul H determinat la intersecţia acestei drepte la scara diametrelor sîrmei dă valoarea acestui diametru. Curbele caracteristice desenate cu linie plină corespund secţiunii circulare, iar cele cu linie întreruptă secţiunii pătrate.

3.1.3. Arcuri lamelare plane, cu deplasări şi deformaţii mari

La arcurile lamelare prezentate anterior se consideră că deplasările care apar sub sarcină, precum şi schimbările dimensiunilor şi ale formei lamelei elastice încărcate sînt relativ mici, astfel că la alcătuirea ecuaţiilor de echilibru se poate considera sistemul nedeformat. în acest fel, la aceste tipuri de arcuri se poate aplica principiul invariantei dimensiunilor iniţiale, precum şi principiul suprapunerii efectelor.

în cazul arcurilor lamelare cu deplasări şi deformaţii mari, aceste principii nu mai pot fi aplicate. Datorită deplasărilor mari şi schimbării formei lamelei elastice, lungirea specifică maximă care apare în lamelă este dată de relaţia: unde h este grosimea lamelei şip — raza de curbură a axei lamelei în punctul considerat. Dacă grosimea lamelei h este mică, deformaţiile lamelei pot fi complet elastice, chiar dacă lamela suferă în ansamblu deformaţii mari.

Din punctul de vedere al desfăşurării calculelor trebuie avut în vedere faptul că, în ecuaţia diferenţială a curburii liniei elastice a unei grinzi:

variaţia razei de curbură este foarte mare, iar valorile tangentelor y' nu mai sînt neglijabile. Din această cauză aproximarea care se face în cazul deformaţiilor mici ale lamelei, scriind ecuaţia diferenţială sub forma:

= nu mai este posibilă în cazul lamelelor flexibile cu

deplasări şi deformaţii mari.

Dacă deplasările nu sînt mici, însă nu sînt nici prea mari, ecuaţia diferenţială se poate transforma prin dezvoltare în serie sub forma:

$$\frac{1}{\rho} \approx y'' \left\{ 1 - \frac{3}{2} y'^2 \right\} = + \frac{M}{EI}. \tag{3.11}$$

Dacă deplasările sînt mari sau foarte mari, ecuaţia diferenţială devine:

unde R este raza de curbură iniţială a lamelei în stare nedeformată, iar

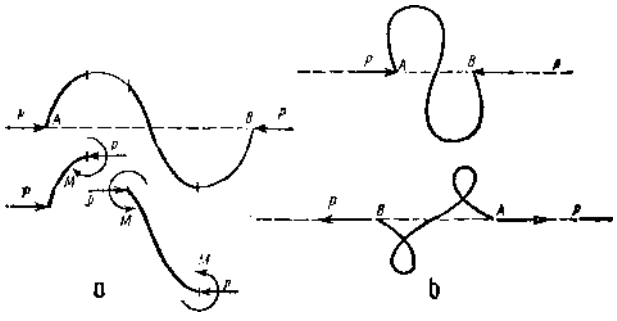
$$E'I = \frac{EI}{1-\mu^2} \tag{3.13}$$

este rigiditatea cilindrică (}j.=coeficientul lui Poisson).

Pentru primele două categorii arătate, calculele se desfăşoară obişnuit, pe baza rezolvării ecuaţiilor diferenţiale indicate.

Pentru cazul deplasărilor mari, desfăşurarea calculelor este mult mai dificilă şi pentru anumite situaţii problema nu este rezolvată pe baza unei metode unitare. Problema barelor flexibile cu deplasări mari, din categoria cărora fac parte aceste arcuri lamelare cu deplasări mari, a fost atacată iniţial în anul 1744 de Leonard Euler, urmat apoi de Kirch- hoff care a pus bazele teoriei generale a deplasărilor mari în anul 1850, pentru barele solicitate în domeniul elastic. Problema a fost şi este şi în prezent studiată de foarte mulţi cercetători. Arcurile lamelare cu deplasări mari se caracterizează prin următoarele condiţii:

— lamela are axa sau forma unei curbe plane;



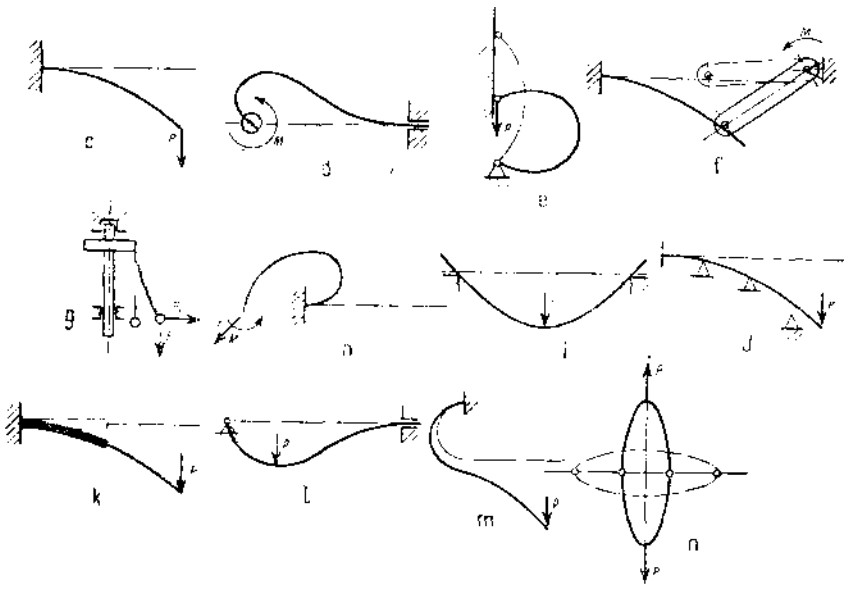


Fig. 3.8

— lamela poate fi împărţită în porţiuni distincte, astfel ca în limitele fiecărei porţiuni rigiditatea la încovoiere să rămînă constantă;

— curbura iniţială a barei este constantă sau egală cu zero;sarcinile exterioare sub formă de forţe sau momente încovoietoare acţionează la capetele porţiunii sau în puncte intermediare.

în fig. 3.8, *a* şi *b* sînt reprezentate formele axelor lamelelor deforma le, iar în fig. 3.8, *c-n* sînt date exemple de lamele elastice cu deplasări mari, deformate sub acţiunea sarcinilor aplicate. Cu linie întreruptă este indicată alura iniţială a lamelei, iar cu linie continuă este indicată lamela deformată.

3.1.4. Elemente de calcul pentru deducerea ecuaţiei liniei elastice

în fig. 3.9 este reprezentată porţiunea *OL* a unei lamele elastice cu rigiditate constantă. Forma ei iniţială OL_0 este un arc de cerc de rază *R.* Lamela este încărcată la extremităţi cu forţe concentrate şi momente încovoietoare. înainte de încărcare şi după încărcare lamela se consideră in echilibru. Pentru uşurarea calculelor se poate face ipoteza că lungimea arcului *OL* rămîne neschimbată în timpul deformării şi deplasării lamelei, deformaţia la întindere sau la compresiune a lamelei fiind neglijabilă faţă de deplasările sistemului, datorită încovoierii. Din acest motiv se poate considera drept variabilă independentă în calculul pentru stabilirea formei elastice, lungimea arcului *s* măsurat de la capătul *O* spre capătul *L.*

Pentru urmărirea deplasărilor faţă de un sistem de referinţă fix şi pentru uşurarea calculului, se utilizează două sisteme de coordonate cu originea comună în O'. Sistemul de referinţă *O'xy* este fix, iar sistemul *O'x'y'* este mobil şi orientat permanent cu axa *O'x'* după o direcţie paralelă cu direcţia forţelor *P* din capetele lamelei. Unghiul de rotire al sistemului mobil faţă de cel fix se notează cu 8.

Un punct oarecare *T* al lamelei deformate se afla înainte de deformare într-un punct T_0, tangenta la linia lamelei nedeformate făcînd unghiul 0_O cu axa *O'x,* iar tangenta în *T* la lamela deformată face, cu axele *O'x* fixă şi *Ox'* mobilă, unghiurile 0, respectiv £. între coordonatele punctului T faţă de sistemul fix şi cel mobil există relaţiile:

$$0 = £ — 5;\ x = x' \cos 8 - y' \sin 8;\ y = y' \cos 8 — x' \sin 8. \qquad (3.14)$$

Curbura liniei elastice în punctul *T* este dată de relaţia:

$$\frac{de}{ds} \quad \frac{d\text{ţ}}{ds} \quad \frac{1}{R} \qquad (3.15)$$

Pentru a putea determina ecuaţia diferenţială a încovoierii plane a lamelei este necesară (3.16)

expresia momentului încovoietor în acelaşi punct.

Momentul încovoietor în punctul T are expresia: $M_T=P(yi-y')$ (3.17)

$+M_L$.

Ecuatia diferentială a încovoierii plane devine: $d\xi$ P / / Λ

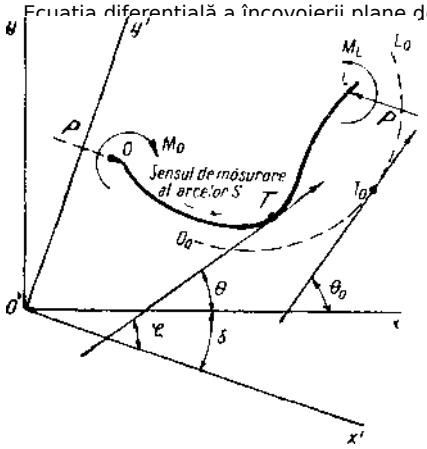


Fig. 3.9

'~R

Derivînd în raport cu s, se obţine:

$$\frac{dK}{ds^2} \quad \frac{dy'}{E'I\,ds} \qquad (3.18)$$

Ţinînd seama că se $\frac{dy'}{ds}$ =sin

poate scrie:

$$\frac{d^*\xi}{ds^1} = \frac{P}{E'I}\ \text{5TT Sin} \qquad (3.19)$$

~P~

Folosind notaţia: (3 = + Z|' — expresia devine:

$$\frac{}{ds^*} \quad (3^2 \text{ sin C} \qquad (3\text{-}20)$$

Aceasta este ecuaţia diferenţială a axei lamelei încovoiate, unde *l* este lungimea lamelei *OL.*

Integrala întîi a acestei ecuaţii se poate scrie sub forma:

$$\hat{} = 2\text{pl/£-sin}^2\text{f}\ , \qquad (3.21)$$

unde *D* este constanta de integrare.

Această ecuaţie leagă expresia curburii într-un punct de valoarea

unghiului unghiul de înclinare a tangentei în acel punct faţă de axa *O'x'* paralelă cu linia de acţiune a forţelor *P.*

Se poate constata uşor că linia de echilibru elastic a lamelei se poate caracteriza prin cîteva puncte caracteristice, şi anume puncte de compresiune C, puncte de întindere *î* şi puncte de inflexiune *I.* în fig. 3.10 sînt reprezentate schematic două lamele cu punctele caracteristice corespunzătoare

Forţa normală din secţiunea transversală este o forţă egală cu forţa P aplicată in capătul lamelei, iar forţa tangenţială este nulă. Tangenta la linia elastică în punctele de compresiune este paralelă cu linia de acţiune a forţelor şi implicit cu axa $O'x'$, astfel că sensul pozitiv al tangentei coincide cu sensul pozitiv al axei Ox'. Rezultă că

$$\zeta = 2\pi n, \text{ deci } \sin^2\frac{\zeta}{d} = 0. \qquad (3.22)$$

Curbura lamelei în punctul de compresiune are valo

$$\frac{d\zeta}{ds} = \frac{2\beta}{l}\sqrt{D}. \qquad (3.23)$$

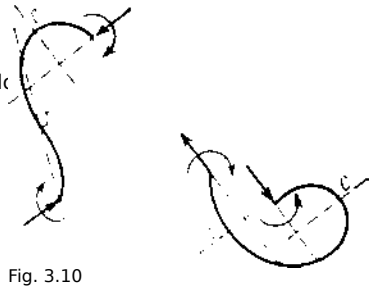


Fig. 3.10

În cazul punctelor de întindere, forţa normală în secţiunea transversală este egală cu P şi o solicită la întindere. în acest caz rezultă

$$\zeta = 2\pi(2n+1) \text{ şi } \sin^2\frac{\zeta}{2} = 1, \qquad (3.24)$$

iar curbura lamelei în punctul de întindere are valoarea minimă dată de expresia:

$$\frac{d\zeta}{ds} = \frac{2\beta}{L}\sqrt{D-1}. \qquad (3.25)$$

în punctele de inflexiune, curbura liniei elastice este nulă. în acest caz rezultă

$$D = \sin^2\frac{\zeta}{2}. \qquad (3.26)$$

Din ecuaţia (3.26) rezultă că valoarea constantei de integrare D este totdeauna pozitivă. După cum D este mai mic, egal sau mai mare ca 1, distingem următoarele feluri de curbe:

Cazul a. $D<1.$

Pentru a avea puncte de inflexiune trebuie ca

$$D = \sin^2\frac{\zeta}{2} = 0, \text{ deci } \sin^2\frac{\zeta}{2} < 1,$$

ceea ce este posibil. Aceste curbe au deci puncte de inflexiune la poziţia de echilibru.

Cazul b. $D>1.$

Pentru aceeaşi condiţie rezultă că trebuie să avem $\sin^2 \frac{\zeta}{2} > 1$, ceea ce este imposibil.

Rezultă, deci, că la aceste curbe nu putem avea puncte de inflexiune la poziţia de

echilibru.
Cazul c. $D = 1$.

Este cazul particular de trecere de la poziţiile de echilibru cu inflexiune la cele fără inflexiune. în acest caz integrala întîi a ecuaţiei diferenţiale a încovoierii plane devine:

$$/^{\wedge} = \pm 2p\cos|. \tag{3.27}$$

Prin integrarea acestei ecuaţii se poate determina parametrul [3 pentru formele de echilibru de trecere de la forma fără inflexiune la forma cu inflexiune.

'*t—r-*
ln-

$$P = \tag{3.28}$$

unde $£_0$ şi ^ sînt unghiurile de înclinare ale liniei elastice la începutul şi la sfîrşitul porţiunii respective a barei.

Integrarea ecuaţiei diferenţiale (3.21) se poate face prin introducerea unei noi variabile, i}', Şi anume:
pentru cazul $D < 1$ al curbelor cu puncte de inflexiune, se notează:

$$D = k^2 \text{ şi } s\,i\,n = / c \quad \sin 4^1, \tag{3.29, a}$$

iar pentru cazul $D > 1$ al curbelor fără puncte de inflexiune se notează:

$$Z) = {}^{\wedge}\text{-şi } \text{siny} = \text{siri} \tag{3.29, 6}$$

Ecuaţia diferenţială (3.21) a curbei elastice, în urma folosirii schimbărilor de variabile indicate, devine

$$Z^{\wedge} = 2\,(3\,Zc\cos \tag{3.30, a}$$

pentru curbele cu inflexiune;

$$Z^{\wedge} = l\sin^2 <Jj \tag{3.30, b)}$$

pentru curbele fără inflexiune.

I'l in iiiLegrare, după eliminarea lui £, pe baza relaţiilor (3.29, *a)* •ii (3.21), *b)* se obţine

$$p.y = F(4) - F(4_0) \qquad (3.31, a)$$

pentru curbele cu inflexiune;

$$p.\pm - = kFtt) - kFU_0) \qquad (3.31, b)$$

Iir111 iu curbele fără inflexiune.

Iu aceste relaţii funcţia *F* (<jj) este integrala eliptică de speţa întîi (u ntru valoarea instantanee a unghiului <p, iar F(tp$_0$) este aceeaşi integrala pentru valoarea iniţială Valoarea lui F(i) este dată de

(3 32)

J q Y1—sin² i|i

Impresiile (3.31, a) şi (3.31, *b)* pot stabili legătura între amplitudinea (Jj (iniţială şi finală) şi parametrul (3 dacă se înlocuieşte s cu *I,* ir.l Ici:

$$P = F(4\text{»}_{£}) - F(<|>o) \qquad (3.33, a)$$

pentru curbele fără inflexiune;

$$Ş = *F(+_{l}) - F((|;_0) \qquad (3.33, b)$$

pentru curbele cu inflexiune.

Rezultă:

$$_{J}F = (<J;) = F(\hat{}_{i}).{}_{J}F(_{(}p_0)\hat{} + F(_{ı}|;_0). \qquad (3.34)$$

Folosind expresiile care determină forma liniei elastice în sistemul ■ coordonate mobile *x'y'* se poate scrie:

$$dx' — cos\ Z, \bullet ds = (2\ \cos^2\text{-}*? — 1) \bullet ds$$

$$dy' = \sin ds = 2 \sin \frac{f - Y}{} — \cos \sim ds. \qquad (3.35)$$

Folosind relaţiile 3.29, *a,* 3.29, *b* şi integrînd de la capătul iniţial al barei pînă la un punct oarecare, se obţine:

$$== ¥\ (^{cos} + o^{-cos}\ 'P) \qquad (3.36)$$

ni

pentru cazul curbelor fără inflexiune;

$$\hat{}=\hat{}\text{-}° = \hat{}\ I\hat{}|k^2 \sin^2 <p_g - Vî\hat{}T^2 \sin^2(|/J \qquad (3.37)$$

pentru curbele cu inflexiune, unde E(^) este integrala eliptică de speţa a doua:

$$E\ (40 = j"V\ 1 \sim k^2 \sin^2 ip\ .\ d \text{ pentru } 0 \qquad \hat{}\ \hat{} \qquad (3.38)$$

Expresia momentului încovoietor (3.16) se poate exprima în funcţie de parametrii elastici prin relaţiile:

$$M = {}^{2}*(.,£2Lţ^{-\epsilon°}ii o > PI\text{-}E2 \qquad (3.39, a)$$

pentru curbele fără inflexiune şi

$$M = \text{ţ}/\text{I} - k^2 \sin^2 t(/ - \hat{} \ 1 \ k^2 \sin \qquad (3.39$$

6)

pentru curbele cu inflexiune.

Funcţia denumită amplitudinea eliptică, variază ca şi £ în lungul axei lamelei încovoiate, de la tJv capătul din originea axelor, pînă la *<pz,,* la capătul opus al lamelei. Mărimea ij;$_0$ se alege în funcţie de semnul curburii şi de semnul unghiului £$_0$, astfel ca ^ să varieze între limitele:

$$- y< <J> < + OO.$$

Pentru determinarea intervalelor de variaţie tjv E. P. Popov a stabilit tabela de orientare (tabela 3.3.), în funcţie de semnul curburii -elastice în origine şi de intervalul de variaţie al lui ^$_0$.

în cazul cînd *£$_0$=rm,* deci

$$r$$

$$\text{siny} = \sin (\hat{}_{\text{„}}=1,$$

expresiile momentelor devin:

Tabela 3.$

Semnul curburii liniei elastice	Interval de variaţie a unghiului U (semnul unghiului în punctul iniţial O al axei încovoiate)	Intervalul în care este cuprinsă valoarea	Ramura curbei periodice în care se află imaginea punctului 0* conform fig. *3.11*
—>0 fo	—^<îo$^{<0}$		*NA*
	+^{71}	°<4'O<Y	*AB*
1<0 Po	- 4- > o >.O	y<^$_0$<$^{\text{Ir}}$	*BC*
	0>î$_0$>-rr	,, 3TT	*CD*

pentru curbele cu puncte de inflexiune, şi

$$M _ \frac{2P\,/}{} _ 52, \qquad (3.40, 6)$$

pentru cele fără puncte de inflexiune.

Efortul unitar în secţiunea transversală este dat de relaţia

$$a = \frac{S}{} \qquad (3.41)$$

în urma deplasărilor mari ale lamelelor elastice, linia elastică a lamelei poate lua diferite forme *care lac* parte dintr-o familie de curbe periodice, care, pentru condiţii corespunzătoare, pot duce la o similitudine geometrică a barelor.

în fig. 3.11 sînt arătate formele curbelor periodice, care pot apărea în cazul poziţiilor de echilibru elastic la lamelele cu deplasări mari în funcţie de valorile lui a, care rezultă din relaţiile modulului: *k = =* sin a (0°^ a <C90°). Coordonatele *E* şi sînt definite prin relaţiile (3.48).

Condiţiile de similitudine geometrică a liniilor de echilibru elastic al lamelelor constau în egalitatea mărimilor unghiurilor determinate de tangentele la două puncte ale curbelor şi în proporţionalitatea lungimilor între punctele corespunzătoare. Se poate considera că două curbe (fig. 3.12, *a* şi *b)* sînt asemenea, dacă lungimile arcelor şi s_2 sînt proporţionale cu razele de curbură R_* şi i?$_2$ în punctele corespunzătoare B_1 respectiv B_2 şi dacă unghiul făcut de tangentele în punctele B_* şiC$_x$ de pe o curbă egală cu unghiul format de tangentele în punctele corespunzătoare B_2 şi C$_2$, de pe a doua curbă.

Afară de coeficienţii de asemănare pur geometrici trebuie avut în vedere şi coeficienţii de asemănare la solicitarea de încovoiere. Astfel,

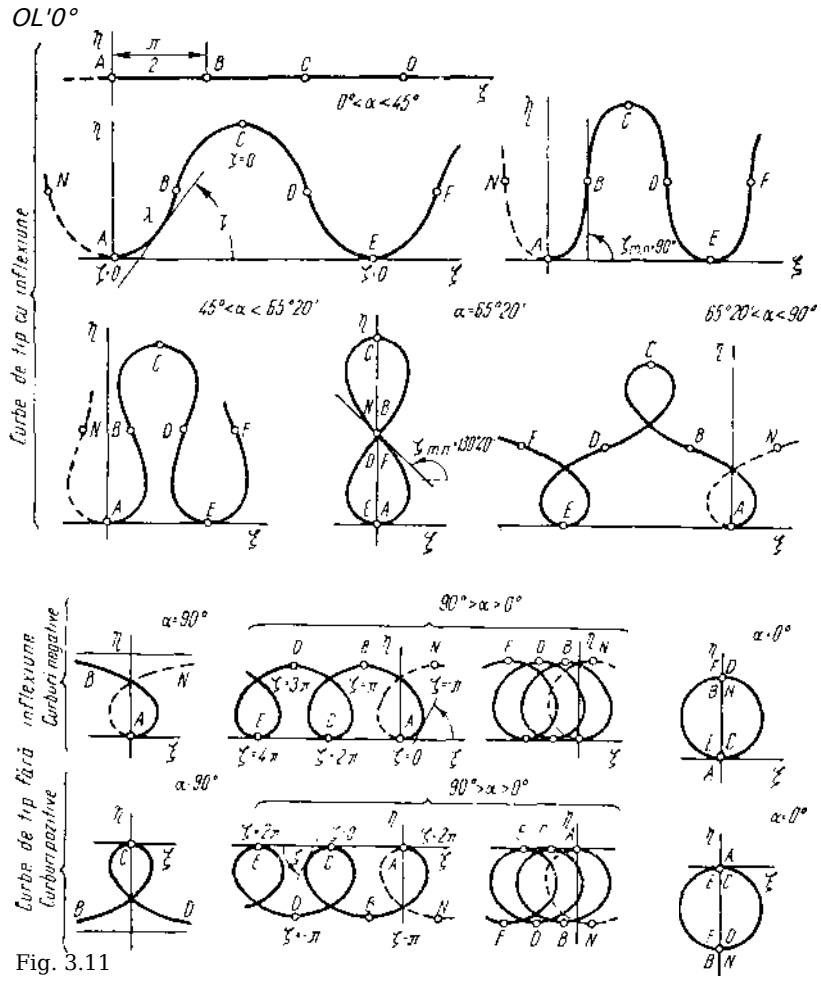


Fig. 3.11

trebuie avut în vedere coeficientul de asemănare denumit coeficientul de asemănare de forţă dat de expresia

$$\beta = \sqrt[3]{\frac{Pl^2}{E'I}}$$

Acest coeficient nu depinde de poziţia punctului de pe lamelă, ci este determinat ca o constantă pentru o porţiune de lamelă de lungime *l*, de

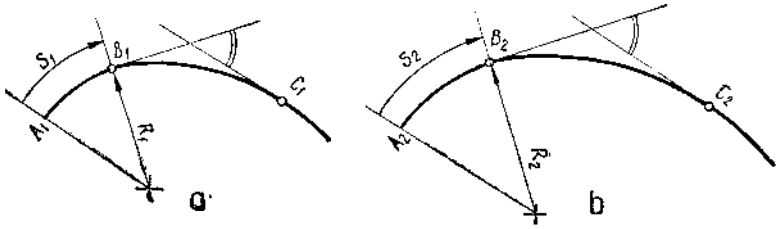


Fig. 3.12

rigiditate *E'I* şi solicitat de o forţă *P*. Un alt coeficient important este denumit coeficientul de asemănare de moment şi este dat de expresia:

$$\gamma = \frac{M}{PE'} \cdot \frac{E'}{I} \cdot \frac{1}{R} \qquad (3.43)$$

în care M este momentul încovoietor în secţiunea studiată, iar *R* — raza de curbură a arcului înaintea deplasărilor elastice (în forma iniţială). Valoarea acestui coeficient depinde de poziţia punctului pe curba elastică.

în aplicaţii practice este necesară determinarea coeficientului de moment la capetele *O* şi *L* ale arcului unde au valorile

$$\gamma_0 = \frac{M_0}{\sqrt{PE'I}} \cdot \frac{E'I}{R} \qquad \gamma_L = \frac{M_L}{\sqrt{PE'I}} \cdot \frac{E'I}{R} \qquad (3.44)$$

:

Al treilea coeficient de asemănare utilizat este denumit coeficientul unghiular de asemănare, care este unghiul £, format de direcţia liniei de acţiune a forţei *P*, aplicată în capătul iniţial al lamelei şi de tangenta la linia elastică de echilibru în punctul studiat. Valoarea acestui coeficient depinde de poziţia punctului pe curba elastică.

Parametrul de lungime al unei porţiuni din curba elastică (lungimea unui arc) este dat de relaţia:

$$X=pi-. \qquad (3.45)$$

Pentru porţiunea cuprinsă între capetele lamelei se poate scrie relaţia:

$$P = X_L-X_0. \qquad (3.46)$$

între curbura curbei elastice într-un punct oarecare şi coeficientul de asemănare de moment pentru acelaşi punct există relaţia:

$$\frac{dt}{dl} \qquad (3.47)$$

Tot ca parametri de lungime adimensionali se utilizează parametrii coordonatelor:

$$5=ş--f \text{ şi } \frac{y}{} \qquad (3.48)$$

Pentru rezolvarea în mod expeditiv a problemelor care se pun în practică, E. P. Popov a imaginat o metodă de lucru grafică în care, pe baza coeficienţilor de asemănare geometrică şi de încărcare, orice lamelă elastică, care se încadrează în categoria curbelor de bază, stabilite de Popov, poate fi comparată cu un segment al curbelor periodice, ale căror imagini sînt reprezentate în diagrama parametrilor elastici, şi din care — cunoscînd trei coeficienţi de asemănare oarecare — se pot determina ceilalţi coeficienţi (încă cinci).

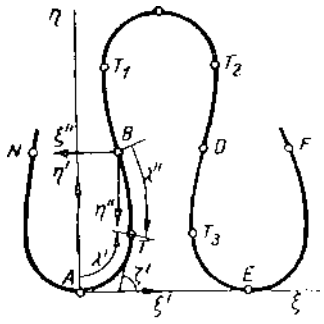


Fig. 3.13

Coeficienţii utilizaţi de Popov sînt: coordonatele adimensionale ┤ şi tj, parametrul de lungime a arcului X, curbura l/p şi unghiul £ făcut de axă cu tangenta la un punct al curbei, notate ca în fig. 3.13. Sistemul de notare depinde de modul de citire şi de alegere a sistemului de referinţă. Dacă citirea se face pornind de la originea A a ramurii principale, parametrii elastici se notează cu ~~£)',~~ X', co', Dacă citirea se face de la capătul B al ramurii principale se notează cu ~~,~~ 7)", X".Deoarece parametrii elastici ai punctului P se notează cu ^90» ^90> Xgo> se poate scrie:

$$\mathbf{5'=\hat{}_0-5";\ V=\%o-V';\ *'=x_{90}-x".} \qquad \mathbf{(3.49)}$$

Punctul B este caracterizat prin amplitudinea eliptică ^=90°.

Dacă într-un punct al curbei se cunosc parametrii elastici £, TJ, X, (o şi £, se pot

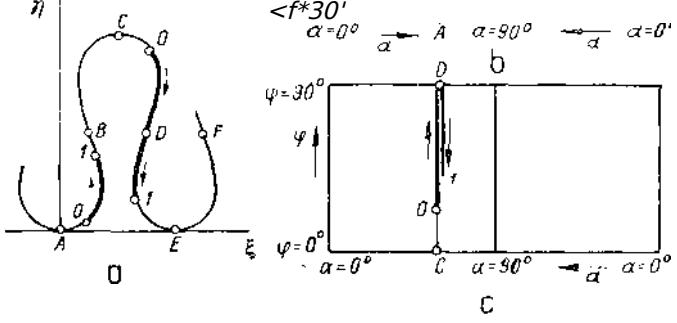


Fig. 3.14

deduce pentru punct coeficienţi de asemănare şi apoi se pot determina toate celelalte mărimi necesare dimensionării lamelei, in acest scop se pot folosi relaţiile:

$^{x} \sim {}^{x}o = y(S\text{-}£o)$: y-y<>= (TQ ^o)

(3.50)

.

Punctul A iniţial al ramurii principale a curbei periodice elastice este determinat de coordonate cp=0, iar capătul final B — de valoarea <p=90°.

Expresia momentului încovoietor într-o secţiune a lamelei este:

<3 52)

Pentru rezolvarea problemelor practice, E. P. Popov a construit într-un sistem de coordonate a şi 9 o serie de curbe cu diferite valori ale parametrilor elastici: , yj', X', şi X". Aceste coordonate a şi 9 se obţin din calcul pentru fiecare bară în parte, a fiind dat de relaţia oc=arc sin k, unde k este modulul integralei eliptice, iar 9 este amplitudinea eliptică ce rezultă din tabele şi este legată de valoarea tj/ prin relaţia i];=n 180°.t9, unde: 0°^9^90° şi n=0, 1, 2, ... etc. Diagramele diferiţilor parametri elastici, construite de E. P. Popov şi redate în fig. 3.15, a, b, c şi d, pot fi folosite mai uşor dacă se utilizează şi valorile lui a, indicate pentru fiecare tip de curbă elastică periodică din fig. 3.11. Trebuie menţionat că în aceste diagrame sînt date valorile parametrilor elastici atît pentru curbele cu inflexiune, cît şi pentru cele fără inflexiune, diagramele fiind împărţite în două de verticala corespunzătoare lui a=90°, în stînga fiind curbele parametrilor elastici pentru curbele periodice de tip cu inflexiune, iar în dreapta — pentru cele fără [illegible]etermine în ce categorie de curbă periodică

Poziţia unui [illegible]ri elastici oarecare specifici punctului, iar po[illegible]numai a unuia dintre aceşti parametri, el fiir

Diagramele [illegible]aptul că imaginile curbelor periodice date î[illegible]sind diagramele, se determină cei opt par[illegible]ele indicate anterior.

Pentru a uşu[illegible]re a parametrilor elastici de la ramura pri[illegible]dimensionale i;, yj, X şi o, corespunzătoare[illegible]e foloseste în legătură cu curbele si notati

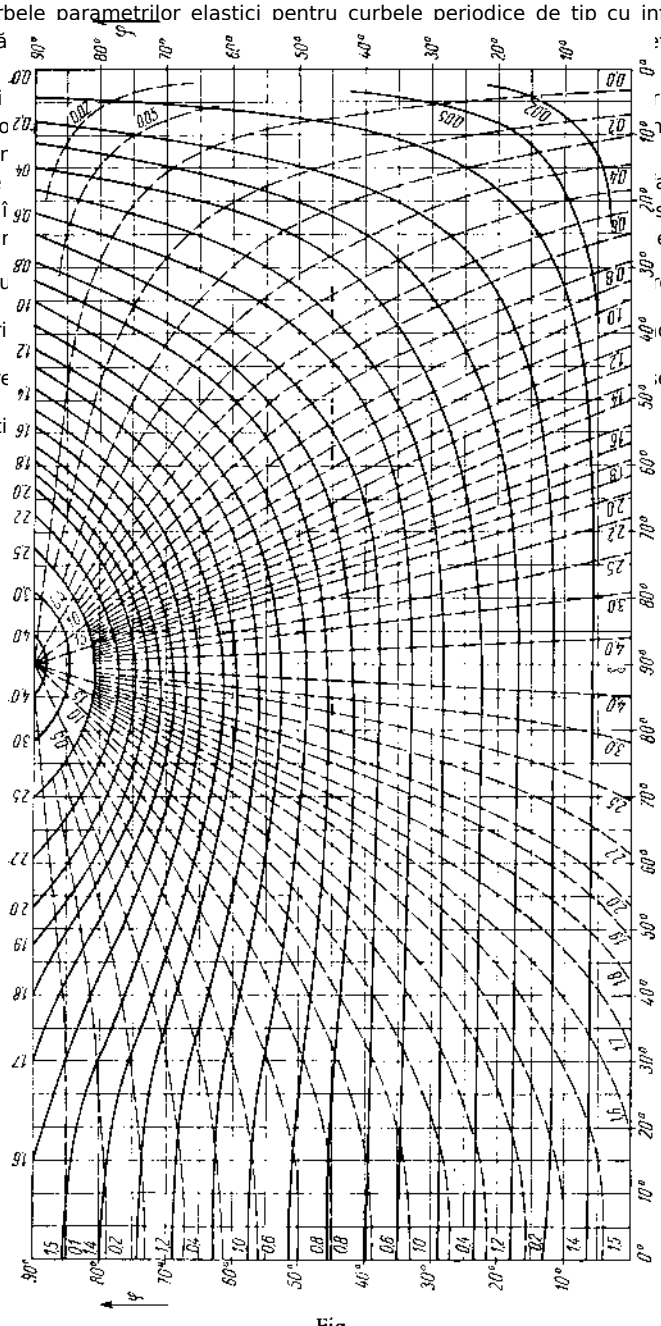


Fig.

3.2. Arcuri în foi suprapuse

3.2.1. Generalităţi

Pentru obţinerea unui element elastic cu un gabarit redus capabil să preia sarcini mai mari decît arcurile lamelare simple se utilizează arcuri în foi multiple.

în principiu, un arc în foi multiple este un element elastic compus din mai multe elemente elastice, lamele suprapuse, strînse între ele printr-una sau mai multe brăţări de strîngere, denumite bride sau legături de arc, astfel că fiecare lamelă în parte lucrează în acelaşi timp cu celelalte, preluînd partea ce-i revine din sarcina care acţionează asupra 'ansamblului.

Datorită capacităţii acestor arcuri de a amortiza trepidaţiile şi şocurile, ele au o utilizare foarte largă în suspensia vehiculelor (vagoane, locomotive, vehicule rutiere, tractoare etc.), formînd legătura elastică între cutia vehiculului şi elementul de rulare (roată, osie şi lagăr). Uti-

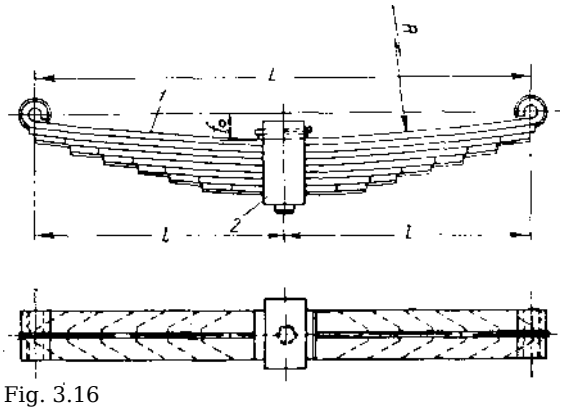


Fig. 3.16

lizarea arcurilor în foi suprapuse ca elemente amortizoare este des întîl- nită şi la diferite maşini sau mecanisme ca, de exemplu, la unele ciocane mecanice de forjă, la tampoane de ascensor etc.

în fig. 3.16 este reprezentat un arc simplu în foi suprapuse cu două nraţe egale, care este cazul cel mai răspîndit.Un astfel de arc este format dintr-un număr de lame (foi) 1 care de cele mai multe ori au aceeaşi secţiune, strîns legate prin brida 2, astfel că foile se consideră încastrate la mijlocul lor. La arcul cu foi suprapuse se deosebesc trei feluri de foi şi anume: foaie principală, foaie principală de întărire şi foi secundare. Foaia principală de lungime egală cu deschiderea arcului este prevăzută cu ochiuri de prindere.

Foaia principală de întărire are lungimea egală cu cea a foii principale şi este montată sub aceasta. Foile secundare sînt mai scurte, lungimea fiecărei foi secundare fiind mai scurtă decît lungimea celei care se află imediat ^deasupra ei. Arcul indicat îti fig. 3.16 are foile strînse cu o singură legătură, care se mai numeşte şi bridă principală. Există şi arcuri la care foile se leagă prin mai multe legături. Acestea au denumirea de legături sau bride secundare. Foile principale sînt prevăzute la capete cu un sistem de prindere sau de rezemare, astfel că arcul este de regulă acţionat de trei forţe; două care apar la capete ca forţe de legătură şi o forţă care acţionează la mijloc (fig. 3.17).

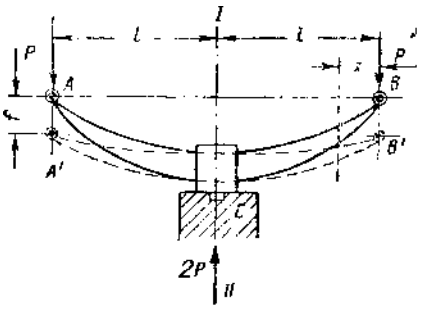


Fig. 3.17

Din figură rezultă că fiecare braţ al arcului este solicitat de un momen; de încovoiere.

Pentru o bună utilizare a materialului din care se execută arcul se urmăreşte ca foile să fie astfel dimensionate, încît arcul să aibă forma unui solid de egală rezistenţă. Arcul din fig. 3.17, reprezentat schematic, este o bară de secţiune variabilă care echivalează cu un solid de egală rezistenţă. Forma ideală a unui arc cu două braţe ar fi un arc constituit dintr-o singură foaie de oţel în formă de romb, astfel că fiecare dintre cele două braţe ar fi de fapt un arc lamelar triunghiular care lucrează ca un solid de egală rezistenţă (fig. 3.18). Deoarece folosirea unei asemenea lamele ar duce la o formă cu totul neconvenabilă şi necorespunzătoare scopului, acest arc se înlocuieşte cu un arc echivalent,

obţinut prin tăierea lamei romboidale în fîşii simetrice de lăţimi
ca în figură şi apoi prin unirea fîşiilor simetrice se obţin lamele de aceeaşi lăţime b care, suprapuse, duc la forma arcului în foi suprapuse. Deoarece capetele foilor astfel obţinute au formă ascuţită triunghiulară,

7 curbarea capetelor foii principale pentru formarea ochiurilor de legătură nu ar putea fi realizată. De asemenea, forma ascuţită a capetelor la foile secundare contribuie la degradarea foilor superioare de care se sprijină. Pentru eliminarea acestor neajunsuri se utilizează arcuri in

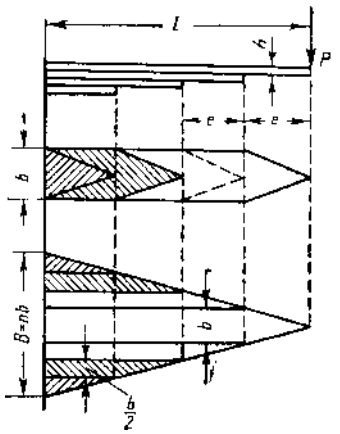


Fig. 3.18

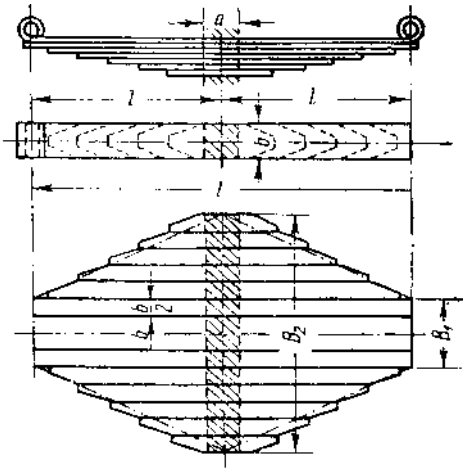


Fig. 3.19

foi cu capul trapezoidal, avînd baza mare $B_2 = nb$ şi baza mică $B = mb$ (fig. 3.19), n fiind numărul total al foilor, iar m numărul foilor principale.

Se întîlnesc însă şi cazuri cînd în afara capului trapezoidal, forma capetelor lamelelor poate fi triunghiulară, dreaptă, semicirculară, semi- eliptică sau parabolică. Cea mai răspîndită formă, afară de cea trape- zoidală şi de cea dreaptă, este cea parabolică (fig. 3.20).

La unele construcţii, pentru obţinerea unei caracteristici a arcului mai puţin rigide se subţiază grosimea foilor la capetele arcului, ca in fig. 3.20.

La diferite construcţii de maşini şi de material rulant sau rutier se întîlnesc foarte multe, variante constructive ale arcurilor în foi, care pot diferi între ele fie prin numărul de foi de întărire, fie prin forma capătului foii.

Alte, variante constructive se obţin prin dispunerea, din construcţie, în mod neegal a braţelor arcurilor (fig. 3.21) sau pur şi simplu din con-slruirea arcului cu un singur braţ (fig. 3.22). De asemenea, se întîlnesc arcuri la care sistemul de rezemare sau de solicitare la capete este diferit (articulat la un capăt şi simplu rezemat la celălalt) (fig. 3.23).

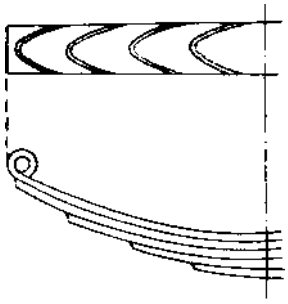


Fig. 3.20

De asemenea, în foarte multe cazuri, se întîlnesc arcuri de acelaşi fel grupate în serie sau în paralel. Arcurile grupate în serie se numesc arcuri duble în foi sau arcuri în foi închise eliptice (fig. 3.24).

în majoritatea cazurilor, caracteristica arcurilor în foi este liniară, rigiditatea lor fiind constantă.

în anumite situaţii trebuie ca arcul să aibă o rigiditate progresivă, ceea ce se realizează fie prin formarea arcului prin foi de rază de curbură diferită — fig. 3.25 — fie prin sprijinirea capetelor arcului pe suprafeţe rotunde, astfel ca deschiderea arcului reală să fie variabilă (fig. 3.26).

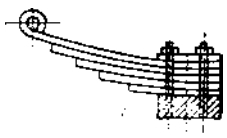


Fig. 3.22

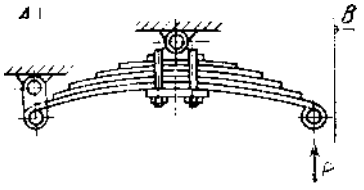


Fig. 3.23

Arcurile în foi multiple sînt utilizate în mod deosebit la vehicule şi la alte tipuri de maşini datorită următoarelor avantaje:

— au lăţimea mică în raport de lungime, ceea ce permite aşezarea lor paralel cu axa vehiculului;

—

— frecările interioare care se produc între foi contribuie la realizarea unei bune amortizări a şocurilor şi Ia obţinerea unei rigidităţi convenabile a arcului;

— prin gruparea în serie sau în paralel a mai multor arcuri în foi se pot realiza caracteristici convenabile; la unele autovehicule, pentru a

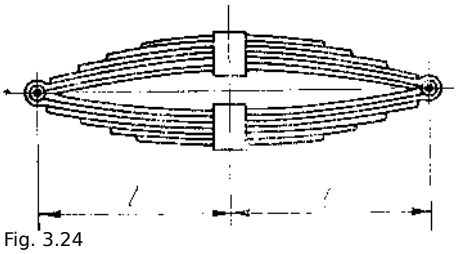


Fig. 3.24

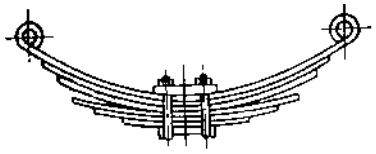


Fig. 3.25

Fig. 3.26

realiza o caracteristică convenabilă, se grupează arcurile în foi cu arcuri- bare de torsiune.

Arcurile în foi necesită o oarecare întreţinere pentru a-şi păstra caracteristica iniţială, deoarece cu timpul acestea ruginesc, ceea ce are ca efect mărirea frecării între foi, favorizînd blocarea, astfel că amortizarea arcului este mult mai slabă.

3.2.2. Calculul şi proiectarea arcului în foi

Relaţiile de calcul care se stabilesc pentru proiectarea arcurilor pornesc de la dimensionarea unui arc ideal teoretic şi apoi, prin corectarea lor în mod corespunzător, se adaptează la arcul real care. se execută practic.

Arcul în foi multiple ideal se calculează ca un solid de egală rezistenţă prin echivalarea lui cu un arc lamelar triunghiular sau cu un arc lamelar trapezoidal.Arcul în foi real se deosebeşte de cel ideal din următoarele cauze: capetele foilor de la arcurile reale diferă de forma triunghiulară care rezultă la formarea arcului ideal;

capătul la foaia principală reală, pentru a putea fi formată la cald sub formă de ochi de prindere, se execută sub formă dreptunghiulară şi nu triunghiulară, ca la arcul ideal; în fig. 3.27 sînt reprezentate cu linie plină formele foilor reale şi punctat, formele celor ale arcului ideal;

frecarea care apare între foile arcului modifică comportarea arcului real;

arcurile în foi se execută de regulă din oţel canelat cu o nervură, ceea ce face ca momentul de inerţie al secţiunii reale să difere de cel corespunzător al arcului cu secţiunea dreptunghiulară considerat în calcul;

datorită faptului că încă de la execuţie fiecare foaie a arcului în foi are o curbură diferită de cea vecină, pentru a asigura rezemarea foii pe foaia superioară, la montarea arcului în bridă este necesară o strîngere iniţială care provoacă în foile arcului solicitări suplimentare;

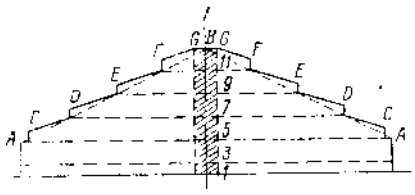
secţiunea de încastrare nu poate fi considerată nici la mijlocul şi nici la marginea bridei; după normele de calcul date de GOST 1425-48,

secţiunea de încastrare *I–I* (fig. 3.28) se ia la distanţa -| de la mijlocul

arcului, unde *a* este lungimea legăturii (bridei) de strîngere;

ultima foaie, cea mai scurtă la arcul real, este o foaie dreptunghiulară sau trapezoidală care are totuşi o porţiune dreptunghiulară (cota c, fig- 3.28), spre deosebire de ultima foaie care rezultă la arcul ideal ca dublu triunghiulară. Această diferenţă modifică, desigur, caracteristica si implicit relaţiile de calcul pentru arcul real.

a



II

Fig. 3.28

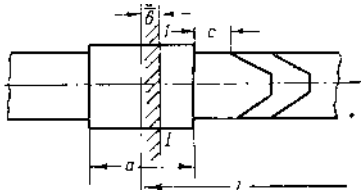


Fig. 3.27

Relaţia de calcul pentru arcul ideal format dintr-o lamelă dublu triunghiulară sau romboidală (ca în fig. 3.18), solicitat la încovoiere, este următoarea:

PI (3.53)

l_{max} = "jy~', unde n este numărul de foi;

Ştiind că W = $\frac{71\ Ml^2}{b}$ — lăţimea unei foi; h — grosimea unei foi; rezultă

$$\sigma_{max} \sim \sim \frac{6Pl}{nbh^2} \quad (3.54)$$

$$f \sim \frac{6Pl}{nbh^3} \quad (3.55)$$

unde σ_{es}te efortul unitar admisibil.

$$f = \frac{6Pf^3}{nbh^3E}$$

Săgeata f = (săgeata iniţială a arcului considerîndu-se nulă), iar lucrul mecanic de deformare

$$\frac{6\ P^2\ l^3}{n\ bh^3E} \quad (3.56)$$

Se observă că indicele de utilizare volumetric este-
b
Relaţiile de calcul pentru arcul ideal, format pe baza unei lamele trapezoidale (v. fig. 3.19), sînt

$$\sigma_{max} \quad \frac{6\ Pl}{B \cdot h^2} \quad \frac{6\ Pl}{nb} \quad (3.57)$$

:

$$\frac{}{hl^2}$$

unde $B_2 = nb$.

Comparînd săgeata obţinută cu cea a unei grinzi simplu rezemate la capete, se obţin

$$f = B \quad \frac{i^3P}{3\ El} \quad B \quad \frac{4\ Pl^3}{nb} \quad (3.58)$$

e

$$h^3E$$

unde B depinde de forma foii trapezoidale de bază şi se determină din tabela 3.5, în funcţie de expresia K_σ = 1 — u n d e B_2 este baza mare şi B_1 — baza mică a trapezului (v.

fig. 3.19).

Tabela 3.--J

Valorile coeficientului *li* pentru arcul iaiuelur trapezoidal in funcţie de K_0.

						0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
B	1,00	1,025	1,054	1.085	1,121	1,160	1,202	1,250	1,315	1,390

Lucrul mecanic de deformare

$$L = \frac{L}{2} = Pf \qquad (3.59)$$

Din 3.57 se deduce

$$P = \qquad (3.60)$$

deci:

sau

$$L \sim \qquad B \qquad (3.61)$$

Ştiind că $V = 2nbhl$ (3.62)

se obţine:

$$L = \qquad <^{3}_^{63}>$$

în acest caz, coeficientul de utilizare volumetrică este

$$\eta = \frac{}{18} \cdot \frac{}{K_v}$$

B şi K_θ avînd valorile din tabela 3.5.

în calculele de dimensionare rezistenţa admisibilă la încovoiere se poate lua, în funcţie de material şi de. coeficientul de asimetrie, la frecvenţe obişnuite

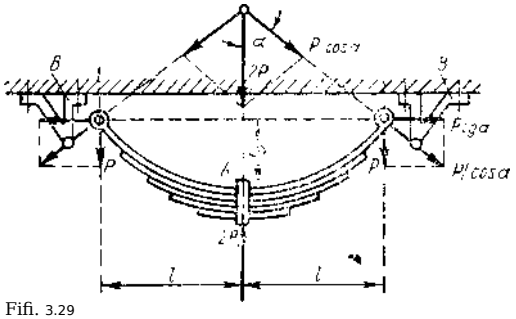
$$\sigma_{ai} = 6\,000 - 10\,000 \text{ kgf/cm}^2.$$

în relaţiile precedente s-a considerat că arcul nedeformat are forma unei bare drepte de secţiune variabilă. în realitate, arcului i se imprimă o formă iniţială, astfel că în calcul este necesar să se ţină seamă şi de săgeata iniţială, deoarece valoarea momentului încovoietor se schimbă, în fig. 3.29 este reprezentat un astfel de arc care are o săgeată iniţială f_{0r} iar capetele acestuia sînt articulate prin ochiurile de arc cu eclise speciale, a căror axă este înclinată cu unghiul a faţă de. verticală.

în acest caz, forţa P care acţionează vertical la capătul arcului este Însoţită de o

componentă orizontală de mărime P tg a, astfel că secţiunea de încastrare considerată la mijlocul bridei de strîngere este solicitată de două momente încovoietoare, şi anume:

$M_1 = Pl$, datorită componentei verticale de la capătul arcului; $M_2 = f_0 P$ tg a, datorită componentei orizontale.



Fifi. 3.29

Momentul încovoietor rezultant,

$$M_i = P(l + f_0 \text{ tg } a) \qquad (3.65)$$

va produce efortul unitar

$$\sigma_T = \frac{M}{W} = \frac{6P}{nbh^2}(l + f_0 \text{ tg } a),$$

relaţia din care rezultă numărul n de foi necesare.

Componenta orizontală va produce în foaia principală şi un efort de întindere σ_{bn} astfel că efortul unitar rezultant în foaia principală este dat de relaţia

$$\sigma_{max} = \sigma [\text{tg } a + \frac{6(H - f_0 \text{tg} \alpha x)}{nh}] \qquad (3.67)$$

Această relaţie este aproximativă, deoarece, în realitate, sub sarcină, arcul se aplatizează şi săgeata sa se modifică, devenind (fig. 3.30), aşa încît săgeata de lucru a sarcinii $f = f_0 - f_1$

Acestei aplatizări îi corespunde şi o modificare a unghiului de înclinare a eclisei, a, care devine a_x, astfel că $\alpha_x = \alpha - \text{tgy}$ •

în acest caz relaţiile pentru efortul unitar şi pentru săgeată, în cazul asimilării arcului

respectiv cu un arc lamelar dublu triunghiular, devin:

$$\frac{6P(;+/jtgq_1)}{bh^2n\ '} \qquad (3.68)$$

$$\frac{}{'\ h\ E} = \frac{emi+fitg»i)}{E\ bh^3n} \qquad (3.69)$$

în cazul arcului preformat, bazat pe ideea formării „dublu trapezoidală“ a foii, relaţiile acestea devin:

I « +t*8«0-<[3-70]>

SI

$$Oj = \frac{6P(/+fitga_1)\ nbh^2}{} \qquad (3.71)$$

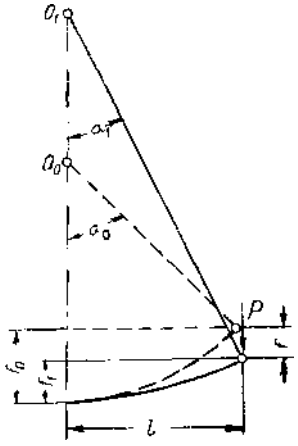


Fig. 3.30

3.2.3. Calculul arcului real în foi

La arcul real în foi apar unele deosebiri de formă şi de solicitare care necesită dirijarea calculului în mod corespunzător, aşa cum s-a arătat mai înainte (paragraful 3.2.1).

Pe lîngă cele arătate, trebuie precizat că la arcul real, foile de arc au în stare liberă curburi diferite, iar la asamblare sînt strînse între ele într-o bridă, cu ajutorul unui bulon central, astfel că, datorită acestui lucru, în foile arcului apar tensiuni încă înainte de încărcarea sa. Aceste tensiuni, denumite tensiuni de asamblare, se suprapun tensiunilor care apar în foile arcului datorită sarcinii. Astfel, în foile scurte tensiunile de asamblare se adună la tensiunile provocate de sarcină, iar în cele lungi se scad din acestea. Diferiţi autori au reuşit să demonstreze că, la arcul real, sarcina se transmite între foile arcului numai prin forţe concentrate în anumite puncte, aşa încît un punct de sprijin se află totdeauna la capătul foii, iar al doilea se află în imediat

apropiere de locul de încastrare, la o distanţă aproximativă x=»0,055 / din lungimea foii,

în unele norme de calcul se consideră că punctul de sprijin se află chiar în secţiunea de încastrare, la distanţa ~ de la mijlocul arcului,
a fiind lungimea bridei de strîngere (GOST 1425-48).

Deoarece un calcul exact, in care să se ţină seamă şi de punctele intermediare de contact de lîngă bridă, este foarte complicat, la proprietatea şi verificarea arcurilor în foi se folosesc metode de calcul aproximativ care dau rezultate destul de apropiate de cele exacte.

Se utilizează în mod curent metoda de calcul aproximativ care admite ipoteza curburii egale a foilor, adică într-o secţiune dată curbură tuturor foilor variază la fel, astfel că momentul încovoietor produs de sarcină se repartizează între foi proporţional cu momentele de inerţie respective; această ipoteză admite în fond că foile se află în contact, între ele, pe toată lungimea şi metoda de calcul aproximativ admite ipoteza că sarcina se transmite de la o foaie la alta numai prin extremităţile foilor.

3.2.4. Metoda de calcul aproximativ bazată pe ipoteza curburii egale a foilor

Această metodă este cea mai utilizată, deoarece rezultatele care se obţin sînt cele mai apropiate de realitate, iar calculul este simplu şi foarte expeditiv. Calculul se apropie în acest caz de calculul unei grinzi cu secţiune variabilă, adică al unui solid de egală rezistenţă, astfel că momentul de inerţie al unei secţiuni oarecare este egal cu suma momentelor de inerţie ale foilor arcului în aceeaşi secţiune.

Fig. 3.31

Pentru a determina săgeata unui sfert de arc (fig. 3.31) se poate folosi, pe baza metodei lui Mohr, relaţia

$$f = \int \frac{M \cdot M'}{EY} dx, \qquad (3.72)$$

în care M' este momentul încovoietor într-o secţiune oarecare x, dat de o forţă unitate: $M' = 1 \cdot x$; iar M — momentul încovoietor dat de forţa P în aceeaşi secţiune: $M = Px$.

Notînd cu u_2, «3...U_n distanţele capetelor foilor faţă de capătul foii principale în care se aplică sarcina P, expresia săgeţii arcului este următoarea:

$$P\,x^{*}dx\,P\text{aii}\,,\,a3-al + \frac{a_n^3-a_{n-1}^3}{Y_{n-1}} - \frac{l^3-a_n}{Y_n}\Bigg]$$

(3.73)

(3.74)

$$f = \frac{P}{3E}\sum \frac{a_{i+1}^3-a_i^3}{Y_i}\,;\qquad \frac{a_n+1-l}{};\ Y\hat{}1,+1,;\ldots\ldots\ldots\ldots;\ V_n\,/,\qquad /,\qquad \ldots/\ \frac{a_4^3-a_3^3}{Y_3} + \frac{n}{}$$

(3.75

Această relaţie dă valoarea minimă a valorii săgeţii, deci mai mică decît cea reală, deoarece în calcul s—a considerat că extremităţile foilor se încovoaie la fel ca şi foile de deasupra lor.

Valoarea maximă a săgeţii arcului se determină considerînd că încovoierea extremităţilor foilor este nulă, deoarece momentul încovoietor la extremitatea foii este nul. Relaţia pentru săgeata maximă este următoarea :

n
(=i

(3.76)

$$f = \frac{P}{3E}\left[\sum_{i=1}^{n-1} \frac{a_{i+1}^3-a_i^3}{Y_i} + \frac{a_1^3}{Y_1}\right]$$

Pentru un calcul practic se foloseşte relaţia care dă valoarea medie a săgeţi

i

(3.77)

in care

Efortul unitar într-o secţiune a unei foi de arc se determină considerînd că momentul încovoietor se împarte între foile arcului proporţional cu momentele lor de

$$f = \alpha\,\frac{P}{3E}\sum_{i=1} \frac{a_{i+1}^3-a_i^3}{Y_i}\,,$$

$$Wn\ Y \qquad _ \qquad fn \qquad (3.78)$$

71
a = 1,15_____1,21.

n

Pentru determinarea săgeţilor arcului asamblat se consideră că în stare liberă foile arcului au forma unor arce de cerc, cu razele de curbură ~~R_{it} R_2, R_3...R_n,~~ după numărul de ordine al foii. Pentru a putea desfăşura calculul se foloseşte noţiunea de rază de curbură a foilor, raportate la prima foaie, conform relaţiilor:

$$Rî — R_2—lh'$$

$$B3 = R3\text{-}(Ai+Aa); \qquad (3\text{-}79)$$

$$Rl = R_4 —(h\hat{}hş\text{-}\hat{}hg),$$

~~h_{ls} h_2, h_s...h_n~~ fiind grosimile foilor.

După asamblare, toate foile primesc aceeaşi curbură, datorită faptului că fiecare foaie este supusă unui moment de încovoiere. Dacă într-o porţiune a arcului asamblat raza de curbură a primei foi devine ~~R_0,~~ variaţia curburii primei foi pe porţiunea dată este

$$\frac{1}{R_0} \qquad \frac{1}{Ri}$$

iar pentru celelalte foi

$$\frac{\text{Î}\ .}{R_0\ K_2\ '/!„\ R'_a\ '\blacksquare\blacksquare\blacksquare\ R_0\ R'_n} \qquad \text{_____/O Q 1 \ } \qquad (3\text{-}82)$$

Deoarece suma momentelor de încovoiere din toate foile arcului, în secţiunea respectivă a arcului strîns trebuie să fie nulă, rezultă:

(3.80)

de unde

(3.83)

4
'

unde 1, 2...A* reprezintă foile de arc care alcătuiesc secţiunea respectivă.

Cunoscînd valoarea expresiei se pot determina momentele încovoietoare din fiecare foaie şi evident şi efortul unitar respectiv, cu ajutorul relaţiilor:

iar eforturile unitare

$$\sigma_i = \frac{M_i}{W_i}; \quad \ldots \quad \sigma_k = \frac{M_i}{W_k}$$

Pentru a determina variaţia totală a razei de curbură a foii principale, în urma asamblării se observă că raza de curbură a foii principale se modifică de la valoarea R_* pînă la valoarea R_{on}, determinată cu relaţia precedentă, pentru fiecare porţiune care apare o dată cu o nouă foaie a arcului. Variaţia totală a săgeţii primei foi rezultă din relaţia

$$f_1 = \sum_{i=1}^{n} \ldots$$

sau considerînd R_* constantă pentru toate porţiunile (cazul foii libere în formă de arc de cerc)

$$f_1 = \frac{l^2}{8} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_*} \right) \qquad \textbf{(3-87)}$$

unde:

f_1 este săgeata foii principale in stare liberă;

l — lungimea;

R_1 — raza de curbură a foii principale in stare liberă;

R_{on} — raza de curbură a porţiunii din arculasamblat, cuprinsă între distanţele a_n şi a_{n+1} de capătul primei foi.

Ca observaţie trebuie reţinut că prin această metodă de calcul, valorile eforturilor unitare în ultimele două foi mai scurte sînt mai mici decît în realitate.

3.2.5. Calculul arcurilor în foi pe baza ipotezei transmiterii forţelor prin extremităţi

Pentru un calcul aproximativ, suficient de apropiat de realitate, se consideră o jumătate de arc strînsă în brida de legătură, transmiterea încărcării de la o foaie la alta realizîndu-se numai prin capătul foii.

Pe baza acestei ipoteze, fiecare foaie se poate considera ca o grindă rectilinie, incastrată la un capăt (în mijlocul bridei) şi încărcată cu două forţe concentrate: forţa de interacţiune cu foaie de deasupra şi forţa de interacţiune cu foaia de dedesubt.

Dacă se consideră două foi ale arcului de ordinul (A -l) şi *k,* fiecare foaie este solicitată ca in fig. 3.32; şi dacă se notează cu *1* şi *2* punctele de aplicaţie ale forţelor concentrate în capătul foii, respectiv în dreptul capătului foii de dedesubt, săgeata punctelor *1* şi *2* pentru foaie se poate scrie sub forma:

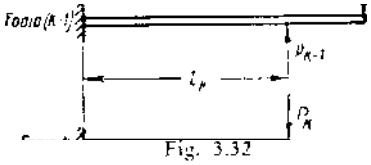


Fig. 3.32

$$y_1^{(k)} = P_k \delta_{11}^{(k)} - P_{k-1}\delta_{12}^{(k)}$$

$$y_2^{(k)} = P_k \delta_{12}^{(k)} - P_{k-1}\delta_{22}^{(k)} \qquad (3.88)$$

unde: $\delta_{11}^{(k)}$ este săgeata punctului *1* al foii *k*, produsă de o forţă egală cu unitatea aplicată în punctul *1* al foii de ordinul *k*;

$\delta_{12}^{(k)}$ — săgeata punctului *1* al foii *k*, produsă de o forţă egală cu unitatea aplicată în punctul *2* al foii de ordinul *k*;

$\delta_{22}^{(k)}$ — săgeata punctului *2* al foii *k*, produsă de o forţă egală cu unitatea aplicată în punctul *2* al foii de ordinul *k;* Săgeţile <5 sînt date de relaţiile:

(3.89)

$$S^{(}fi = \hat{} \; I'vI + K(l_k\text{-}l_{k+l})^s;$$

$$\delta_{12}^{(k)} = \frac{1}{6EI_k} l_k^2 \; {}_1(3l_k - l_{k+1});$$

$$\delta_{22}^{(k)} = \frac{l_{k+1}}{3EI_k},$$

(3.89)

în care 7* estemomentul de inerţie al secţiunii transversale.

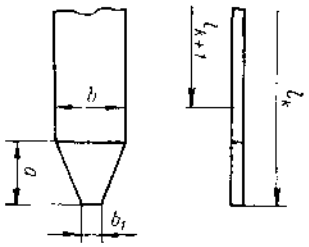
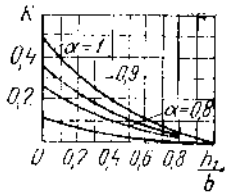
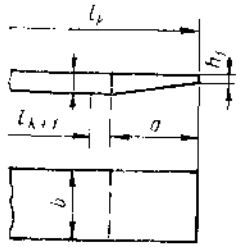
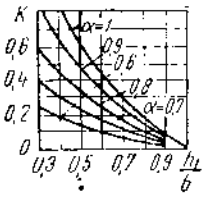
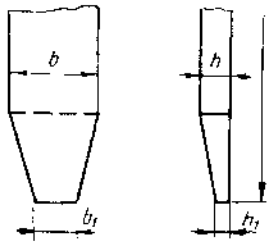
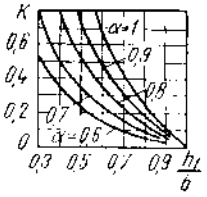
K —— un coeficient care ţine seamă de forma capătului foii, modificat fie prin subţierea sa, fie prin retezarea sa; în cazul foii nesubţiale şi neretezate la capăt. *K*=0;

în tabela 3.6 se dau valorile coeficientului *K* pentru diferite forme uzuale ale capetelor foilor de arc; *h,* ^i-i] sînt lunigmile foilor *k* şi A-+1 măsurate de la secţiunea de

încastrare pînă la capătul foii.

Tabelul 3.6

Valori ale coeficientului K pentru determinarea eforturilor unitare la încastrarea arcelor

	$K^{[k]}=\frac{\alpha^3}{2}\cdot\frac{6\beta^3\ln\frac{1}{\beta}+(1-\beta)(1-5\beta-2\beta^2)}{(1-\beta^3)}$ $\alpha=\frac{a}{l_k-l_{k+1}};\quad \beta=\frac{b_1}{b}$	
	$K^{[k]}=\frac{\alpha^3}{2}\cdot\frac{6\ln\frac{1}{\beta}-(1-\beta)(11-7\beta-2\beta^2)}{(1-\beta)^3}$ $\alpha=\frac{a}{l_k-l_{k+1}};\quad \beta=\frac{h_1}{h}$	
	$K=\alpha^3\cdot\frac{1-\beta}{\beta}$ $\alpha=\frac{a}{l_k-l_{k+1}}$ $\beta=\frac{h_1}{h}=\frac{b_1}{b}$	

Deoarece săgeata capătului *1* al foii *k* este egală cu săgeata punctului de sprijin pe foaia superioară *(k* — 1) notat cu *2* se poate scrie:

__JJ _____**p.s^ p**_____ p ^ p *a*
qo\

y i = y 2 —*i^k OW* — i^fc+1-0 12 — .F/c-r O 12 -*t'k-O* 22 (O.yU)

Pentru a determina valorile forţelor de interacţiune P_3, ... *P%* se folosesc rapoartele:

$$P, = \frac{Pk—i_{n}}{P/c^{P}k+i} \cdot$$

Folosind egalitatea săgeţilor menţionate

s'.V+s'V¹ i «S
<3ı92)

Dacă arcul are în total *n* foi, atunci

$$\frac{1}{C_n}\frac{Pn+i}{Pn} = 0, \qquad (3.93)$$

deoarece *Pn+1* = 0, neexistind foaia n+1. Rezultă în acest caz:

^ _ *Pn-l* *(1ni)+8<n2l1)

Pn-2 8(n1l1) + 8<"2²) ¹

$$C_{1=} - = \frac{Pi}{P_2}\frac{1}{8m}\frac{â®}{C,\ 8\$} \qquad (3.94)$$

unde este forţa care acţionează în capătul (ochiul) foii principale.

Determinînd coeficienţii de raport al forţelor ce pot determina toate forţele, deoarece forţa P_a este cunoscută fiind încărcarea arcului, rezultă:

ultimii trei coeficienţi (corespunzători foilor celor mai scurte), în fig. 3.33 se dau valorile acestora în funcţie de raportul l_n/l_{n-i} şi de coeficientul K, folosind relaţiile stabilite anterior pentru deplasările S. Deoarece pentru calculul de care depinde de forma capetelor foilor. Deoarece, în majoritatea cazurilor uzuale, arcurile în foi se execută din foi de grosime egală şi cu diferenţe egale între lungimile foilor vecine, valorile coeficienţilor C se găsesc în unele tratate calculate pentru anumite condiţii.

In tabela 3.7 se dau valorile coeficienţilor C pentru două situaţii folosite mai des, şi anume:

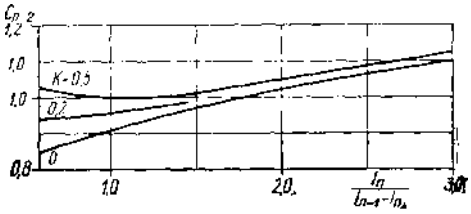
— lungimea l_n a ultimei foi este egală cu diferenţa dintre lungimile foilor vecine, adică

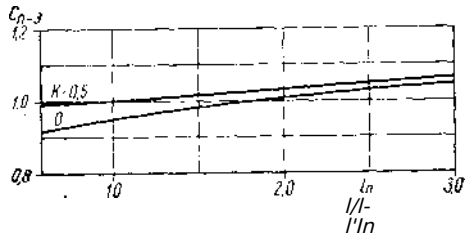
$$l_n = l_k - l_{k+i}$$

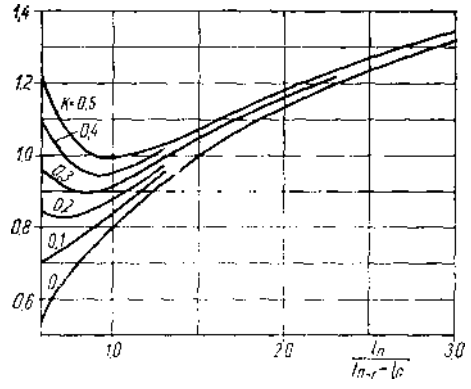
— lungimea l_n a ultimei foi este egală cu dublul diferenţei dintre lungimile foilor vecine, adică $Zu = 2(l_k - l_{k+i})$.

Pentru fiecare dintre aceste două situaţii s-a prevăzut şi influenţa modificării capetelor foilor redată prin valoarea coeficientului K, a cărui valoare este nulă pentru capetele foilor retezate după o dreaptă şi egală cu 0,5 pentru capetele foilor subţiate.

Se observă că majoritatea coeficienţilor sînt foarte apropiaţi de unitate, cu excepţia ultimilor trei: C_{n-1}, C_n-2, 3, a căror determinare este importantă pentru calculul precis al eforturilor unitare în ultimele foi. Fie. 3.33







7
*

Variantele arcurilor (din punctul de vedere al lungimii ultimei foi şi al valorii coeficientului K)	^71—1	ᶜn-2	Cn—3	^n — 4	^n — 5	ᶜn-6
a) *tn = lk—lk+*1; A' = 0	0,800	0,920	0,957	0,975	0,983	0,988
b) *ln = lk—*/jfc+iî i£ = 0,5	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
c) /„ = 2(/*--/*;$_{+1}$);K=0	1,142	1,031	1,008	1,001	0,999	0,998
d) *ln — 2.{k}c—*/fc-fi); A =0,5	1,179	1,052	1,023	1,012	1,007	1,005

Pentru determinarea eforturilor unitare şi a săgeţii arcului este necesar să se stabilească expresia momentelor încovoietoare într-o secţiune a unei foi *k:*

pentru 0<x<Z/._i,

$$M_x = P/_c(l_k{}^x)—^*+1(^+1—^x)> \quad (3.96)$$

Pentru: ~~$l_{k+i}<x<l_k$~~,

$$M_x = P_k(l_k\text{-}x). \quad (3.97)$$

Cunoscînd momentul, efortul unitar se determină cu relaţia

$$\sigma_i = \frac{M}{W}.$$

Săgeata arcului în foi este identică cu săgeata foii principale şi este dată de relaţia

$$y_{1=}f=P_1 8 V\text{-}P_2\$[ţ> \quad (3.98)$$

sau

$$\sim\!\!Uj = f = Pi\sim\!\!\ [s\ \text{H - }^\ \textbf{sV-ij}\ \cdot \quad (3.99)$$

Pentru un calcul aproximativ prealabil al săgeţii arcului în foi se poate folosi relaţia

$$| \qquad <^{3}\text{-}^{10\circ})$$

în care Y este suma momentelor de inerţie ale tuturor foilor arcului;

~~x~~ — un coeficient de deformare, care depinde de tipul arcului ale cărui valori sînt date în tabela 3.8.

Tabela 3.8
Valorile coeficientului de deformare

Tipul arcului	cientul de mare X
Grindă de egală rezistenţă (arc „ideal")	1,5
Arcuri cu extremităţile foilor subţiate, apropiate de o grindă de egală rezistenţă (arcuri de autoturism)	1,4—1,45
Arcuri cu extremităţile foilor retezate după o dreaplă, la care foaia a doua are o lungime egală cu prima şi care au cel mult o foaie deasupra foii principale Arcuri cu extremităţile foilor retezate după o dreaptă, avînd două-trei foi egale în lungime cu foaia principală şi cîteva foi deasupra foii principale Arcuri deosebit de grele cu un număr mare de foi de aceeaşi lungime	1,35 1,3 1,25

Dacă arcul este executat din foi de grosimi diferite, între grosimea foilor şi diferenţa dintre lungimile a două foi vecine, pentru ca toate calculele menţionate să fie valabile, trebuie să existe relaţia

$$\frac{h-l_{k}+1}{\frac{7}{l}_{k}^{3}} \quad \frac{l_{k}+l-\text{ffc}+2}{\frac{1,3}{7}_{k+1}} \quad \frac{l_{n}-1-l_{n}}{\frac{1.3}{n-l}} \qquad (3.101)$$

în calculul de dimensionare sau de verificare al arcurilor în foi trebuie să se aibă în vedere faptul că foile libere diferă ca formă de foile din arcul strîns. Pentru a se aduce foile la forma din arcul strîns, acestea sînt strînse astfel că în arcul în foi montat există între foi forţe de interacţiune care apar la asamblarea foilor în arc. Aceste forţe se consideră că acţionează la capetele foilor, iar mărimile acestor forţe se pot determina prin aceeaşi metodă folosită la determinarea modului de transmitere a sarcinilor exterioare.

între foile unui arc în stare liberă există jocurile $J_{1(}$ J_{2}, ... J„_i (fig. 3.34, *a—d*), care în urma asamblării arcului în foi (fig. 3.34, e), dispar. Dacă se presupune că la montarea arcului se strînge penultima foaie pe ultima foaie, apoi antepenultima foaie pe grupul format de ultimele două şi aşa mai departe, şi dacă se notează cu Q_{k} forţa de strîngere care acţionează în capătul foii, acestea se pot determina cunoscînd mărimile jocurilor. Trebuie avut în vedere faptul că în timpul asamblării succesive, odată cu montarea unei noi foi, se modifică toate forţele de interacţiune care acţionează între foile de arc deja montate, în fig. 3.34, *a—e* se arată modul de strîngere succesiv a foilor arcului.

Folosind metoda de calcul aproximativ bazată pe ipoteza transmiterii forţelor prin extremităţi pentru un arc care are *n* foi, în cazul strîngerii penultimei foi, *n* — 1 pe ultima foaie pînă la anularea jocului j_n-1» se poate scrie, folosind aceleaşi notaţii:

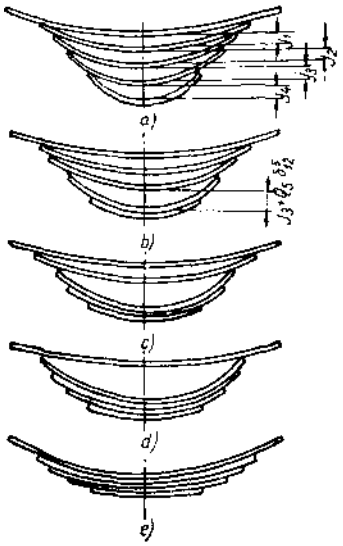


Fig. 3.34

$$j_{n-1} = Q_n \left(\delta_{11}^{(n)} + \delta_{22}^{(n-1)} \right), \qquad (3.102)$$

de unde

$$Q_n = \frac{j_{n-1}}{\delta_{11}^{(n)} + \delta_{22}^{(n-1)}}. \qquad (3.103)$$

Făcînd calculul pînă la prima foaie, pe baza aceleiaşi metode, se obţine:

$$Q_{n-1} = \frac{j_{n-2} + Q_n \delta_{12}^{(n-1)}}{C_{n-2}\, \delta_{12}^{(n-2)}};$$

$$Q_{n-2} = \frac{j_{n-3} + Q_{n-1} \delta_{12}^{(n-2)}}{C_{n-3}\, \delta_{12}^{(n-3)}};$$

. . . . . .

$$Q_3 = \frac{j_2 + Q_4 \delta_{12}^{(3)}}{C_2\, \delta_{12}^{(2)}};$$

$$Q_2 = \frac{j_1 + Q_3 \delta_{12}^{(2)}}{C_1\, \delta_{12}^{(1)}}. \qquad (3.104)$$

Forţa ~~*Qi=Q=0,*~~ deoarece, la montare, la extremităţile primei foi nu apare nici o forţă de interacţiune.

Forţele Q* apar în momentul asamblării foii respective. în timpul montării foilor următoare superioare, valorile lor se modifică, adăugîn- du-se şi partea de sarcină care se transmite prin capetele foilor montate. Valorile forţelor totale de interacţiune care acţionează în capetele foilor se determină cu relaţiile:

n=0***;**

n=Q+* g;

..... (3.105)

Pn = Qn+-ţ=-Variaţia săgeţii foii principale a arcului este dată de relaţia:

f′ = Pi SiP- (3.106)

Chiar dacă nu există o sarcină exterioară care să acţioneze asupra arcului montat, în fiecare foaie în parte apar solicitări datorită forţelor de asamblare, care produc momente şi deci eforturi unitare suplimentare. Suma acestor momente în secţiunea de încastrare trebuie să fie nulă şi deci:

MW,Mi+ . + MA=0=2ff'W, (3.107)

unde W este modulul de rezistenţă al foii *k.*

Rezultă că eforturile unitare în diferite foi sînt de semne diferite (deoarece suma de mai sus este nulă). Astfel, în foaia cea mai lungă, ele au semn negativ, iar în foaia cea mai scurtă — semnul pozitiv, între forţele de strîngere şi eforturile unitare care se produc în foi există relaţiile:

$$P'_n = \sigma'_n \frac{W_n}{l_n};$$

$$P'_{n-1} = \frac{\sigma'_{n-1} W_{n-1}}{l_{n-1}} - P'_n \frac{l_n}{l_{n-1}};$$

$$P'_{n-2} = \frac{\sigma'_{n-2} W_{n-2}}{l_{n-2}} - P'_{n-1} \frac{l_{n-1}}{l_{n-2}}; \qquad (3.108)$$

$$P'_2 = \frac{\sigma'_2 W_2}{l_2} - P_3 \frac{l_3}{l_2}.$$

în foile scurte, efortul unitar datorit strîngerii este de acelaşi semn cu efortul unitar produs de sarcina exterioară (încărcarea arcului în foi), astfel că cele două eforturi se adună, iar în foile lungi este de semn contrar, astfel că eforturile unitare cele mai mari şi mai periculoase apar în foile cele mai scurte.

între săgeţile foilor în stare liberă şi săgeţile foilor din arcul asamblat (fig. 3.35) există relaţia:

Uk = Uk~|-*Pk* Si? — *P′(k-l)* §12\ (3.109)

in care *y** este săgeata foii de ordinul *k* liberă;

yît — săgeata foii de ordinul *k* în arcul montat.

La calculul de dimensionare al unui arc în foi trebuie să se dea o atenţie deosebită eforturilor unitare care se produc în ultimele trei foi, a căror mărime este de regulă substanţial mai mare decît în celelalte foi. în acest scop este necesar să se determine în prealabil expresia momentelor încovoietoare din secţiunile de încastrare din aceste foi.

$$M_{n-2} = \frac{M_i}{I_{n-i}} \cdot \frac{E_i f_c}{\sum_{n-2}^{n-1} (I_{n-2} - I_{n-i})} \cdot \sum_{I_{n-2}}^{M_{n-2}} W_{n-2}$$

Momentele încovoietoare $\sum_{n-2}^{n-1}(I_{n-2} - I_{n-i})$ în foi ale unui arc cu n foi, în raport cu momentul de încovoiere total M_i, care lucrează în secţiunea de încastrare, sînt date de relaţiile:

$$M_{i-i} = M_{II} \frac{\sum_{n-1}^{n-1} (I_{n-i} I_n)}{\sum_{n-i}^{n-1} (C_{n-2} \cdot I_{n-a} I_{n-i})} \sum_{a}^{M_n}$$

$$M_n = M \frac{I_n}{\sum_{n-i}^{n-1} (C_{n-2} I_{n-2} I_{n-i})} \sum_{rs_n}^{Mn} = \quad (3.110)$$

Dacă eforturile unitare în ultimele foi depăşesc valorile admisibile, o cale pentru a simplifica calculul de proiectare constă în înlocuirea ultimei sau ultimelor foi prin mai multe foi subţiri în care vor apărea eforturi unitare mai mici.

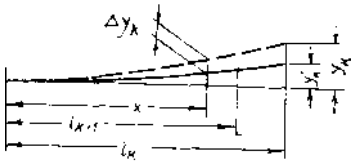


Fig. 3.35

în calculele prezentate anterior s-a considerat cazul arcului în foi în formă de jumătate de arc, adică cazul arcului cu un capăt încastrat în brida de strîngere şi cu celălalt solicitat de sarcină.

Pentru arcurile semieliptice, cantilivere sau pentru arcurile închise, relaţiile de calcul sînt similare, deosebirea constînd numai la determinarea mărimii săgeţii, adică a deplasării bridei de legătură, fiind necesar să se adune săgeţile care rezultă din fiecare parte.

3.2.6. încărcarea arcului prin eclise oblice

După cum s-a arătat în paragraful 3.2.2, în foarte multe cazuri, mai ales la arcurile de suspensie folosite la materialul rulant, sarcina se transmite pe capetele arcului după o direcţie înclinată faţă de verticală, prin intermediul unor eclise articulate prin buloane cu un capăt de ochiu

l

arcului şi celălalt capăt de suportul de arc. Trebuie observat, de asemenea, faptul că foaia principală nu este dreaptă, ci are — din construcţie — o curbură. în acest fel ea prezintă o săgeată iniţială f_{0r} care variază la încărcarea arcului. în acest caz

semilungimea foii, *lt,* diferă de lungimea *l* a semideschiderii arcului (fig. 3.36).

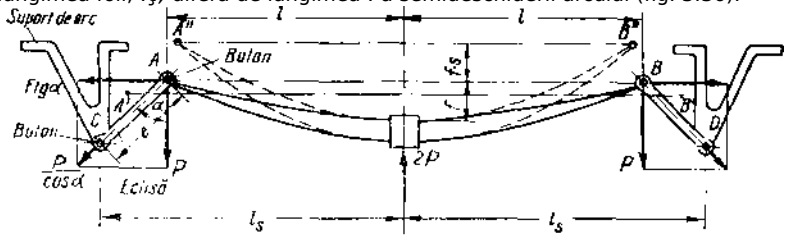


Fig. 3.36

Valorile lui cr şi *f* pentru acest caz sînt cele date de relaţiile (3.70) şi (3.71). Trebuie avut în vedere însă că secţiunea de încastrare a foilor nu se află chiar la mijlocul bridei de strîngere, ci la o distanţă egală cu a şasea parte din lăţimea *a* (v. fig. 3.19) a bridei.

Pe baza acestui considerent, relaţiile (3.70) şi (3.71) devin:

$$\sigma_{max} = \frac{6\,P\left(\frac{y}{2} + f_i \operatorname{tg}\alpha\right)}{nbh^2E} \qquad (3.111)$$

$$\sigma_{max} = \frac{6\,P\left(\frac{y}{2} + f_i \operatorname{tg}\alpha\right)}{nbh^2E\left(1 + \frac{1}{6}\operatorname{tg}\alpha\right)} < [\sigma] \qquad (3.112)$$

Pentru un calcul mai precis trebuie avut în vedere că mărimile *l,* a şi sînt variabile depinzînd de mărimea sarcinii *P.* Din această cauză unii autori (de exemplu Siefried Gross) deosebesc două cazuri: arcul în foi cu o deformaţie mică (rigiditate mare şiîncărcare redusă) şi arcul în foi cu deformaţii mari.

Pentru primul caz săgeata este dată de relaţia

$$f = \frac{P l^3}{EI} \operatorname{tg}\alpha \qquad (3.113)$$

:

în care // este semilungimea foii principale;

I — semideschiderea arcului;

B — coeficient în funcţie de forma trapezoidală a foii, dat în tabela 3.5;

fi — coeficient care depinde de forma capătului trapezoidal al foii, care se determină funcţie de *K* = 1 — ^ (fig. 3.37 şi tabela 3.9).

Tabela 3.9
Valorile ('deficientului P pentru arcul cu foi suprapuse

K											
						0,6	0,7	0.8	0,9	! ,0	
,3 | 0,417	0,429	0,442	0,467	0,473	0,493	0,513	0,539	0,569	0,609	0,667	

Pentru cazul al doilea al deformărilor mari, săgeata *Pil)*

$$1_{+}\sim B7^{plgai}\ \frac{Pl'jjlf^{1}\quad Pil}{1+\ —^{7}\ Ştga}\ ®\ \ '\ tf/'a \qquad (3.114)$$

unde *P*$_{ik}$ *rx y* şi *fî* sînt valori corespunzătoare unei sarcini determinate iniţial şi considerată de referinţă (ca punct de pornire). Prin variaţia sarcinii *P,* mărimile a şi *f* se modifică, deoarece prin coborîrea capetelor arcurilor eclisele se rotesc. Dacă lungimea ecliselor (v. fig. 3.36) este *e,* iar ele se rotesc cu un unghi a— otj, capetele ecliselor articulate la capetele foii principale de arc se ridică cu distanţa *,s=e* (cos a—cos a$_x$), astfel că linia orizontală *AB* (v. fig. 3.36), care uneşte centrele buloanelor de articulaţie, se deplasează cu distanţa

$$d=f' -(f-fi)+s, \qquad (3\text{-}115)$$

iar deschiderea arcului *21* se modifică în funcţie de mărimea unghiului «, ..., dacă se notează cu *2l*$_s$ distanţa dintre centrele articulaţiilor eclisei la suporturile de arc

$$\text{sin } a=\frac{h—l}{e} \qquad (3.116)$$

Considerînd curbura foii principale aproximativ egală cu cea a arcului (fig. 3.38) se pot scrie relaţiile:

$$f = \frac{2e + h}{4}\left(1 - \cos\frac{\varphi}{2}\right) \qquad (3.117)$$

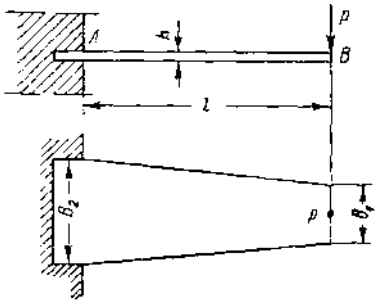


Fig. 3.37

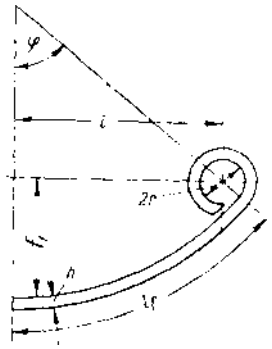


Fig. 3.38

Relaţiile (3.116) şi (3. 117) servesc la determinarea valorilor *l* şi a pentru o valoare *fj* impusă unui arc, la care se cunosc *h, lf, r* şi *e.* Odată determinate aceste valori, se poate obţine săgeata *f* cu relaţia (3.114).

3.2.7. Influenţa forţelor de frecare asupra caracteristicii arcului

în timpul deformării arcului, datorită alunecării relative, între foi apare o forţă de frecare care-i schimbă caracteristica. Considerînd că transmiterea sarcinii între foile arcului are loc prin capetele arcului (forţele de frecare apar în aceste puncte), asupra unei foi vor acţiona — pe faţa superioară şi pe cea inferioară — două forţe de frecare aproximativ egale şi de semn contrar, formînd un cuplu. Excepţie fac prima şi ultima foaie, asupra cărora acţionează numai cîte o forţă. Considerînd forţele în capetele foilor aproximativ egale cu forţa *P* din capătu

arcului, valoarea fiecărei forţe de frecare fiind astfel ;~~xP,~~ suma momentelor forţelor de frecare:

$$(n-2)|iP/i+2|i\ P\pm = \{n-l)_{l}iPh = P_{1}1, \quad (3.118)$$

unde JPJ este forţa din capătul arcului, necesară pentru a învinge frecarea dintre foi.

Rezultă:

$$p\ (n—\mathbf{l})\ h \qquad \underline{Pi =} \qquad = P. \quad (3.119)$$

I

între forţa ~~P_t~~ necesară învingerii frecării dintre foi şi sarcina ~~P~~ din capătul arcului există o proporţionalitate. Coeficientul de proporţiona- litate 9 se numeşte coeficient de frecare relativă a arcului.

Mărimea forţei P_x reprezintă aproximativ 4—5% din valoarea sarcinii. Dacă nu ar exista frecare, caracteristica arcului ar fi liniară, ar fi dată de relaţia ~~$P=cf$~~ (c fiind rigiditatea arcului), şi s-ar reprezenta prin dreapta ~~OA~~ (fig. 3.39).

Din cauza frecării, pentru a realiza aceeaşi săgeată ~~$f,$~~ este necesar ca la forţa ~~P~~ să se adauge forţa P_x = P<p, astfel încît caracteristica să se schimbe, să devină ~~$OA_x.$~~ La descărcarea arcului, forţele de frecare sînt de semn contrar şi se opun revenirii acestuia la forma iniţială. Pentru a se produce o variaţie n săgeţii arcului — este necesar ca acesta să fie descărcat cu o forţă P_1+P_2» forţa P_2 fiind forţa necesară învingerii frecării care apare la descărcarea arcului, caracteristica acestuia la descărcare fiind ~~$OA_2.$~~ Pentru a determina suma forţelor P_x + P_2 corespunzătoare unei săgeţi oarecare se trasează dreapta M,M_2 paralelă la axa ordonatelor.

Pentru un calcul mai exact al forţei necesare învingerii frecării la arcul în foi, se poate utiliza relaţia

$$P=cf(l\pm[La)\pm_{l}Lb, \quad (3.120)$$

în care:

$$n = \frac{j}{*2\ i-_o} \text{ X } \frac{h}{'^2} (^+/>i-i); \quad = r\ f \quad (3\text{-}121) \quad k=2$$

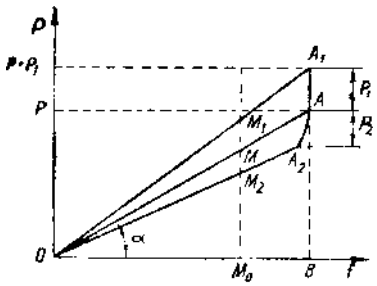


Fig. 3.39

care ţine seama de grosimile şi lungimile fiecărei foi. Semnul plus corespunde încărcării arcului, iar semnul minus — descărcării lui, notaţiile fiind cele folosite anterior.

3.2.8. Oscilaţiile arcurilor în foi

în cazul cînd arcurile în foi sînt supuse oscilaţiilor, este necesar să se ia în consideraţie şi frecarea dintre foi.

După cum s-a amintit, forţa necesară pentru a învinge frecarea dintre foi în stare de repaus este:

P^cpP. (3.122)

Dacă săgeata pe care o primeşte arcul încărcat cu o sarcină în repaus este ~~$f_{s,}$~~ iar rigiditatea sa este ~~$c,$~~ şi dacă sub acţiunea unui impuls oarecare săgeata creşte cu mărimea ~~$y,$~~ expresia forţei pentru a învinge frecarea din arc devine:

$$P\hat{}Wtf'+y). \quad (3.123)$$

Dacă sarcina care acţionează asupra arcului supus oscilaţiilor este ~~$P,$~~ ecuaţia de mişcare are forma (schimbarea semnului depinzînd de sensul mişcării) următoare:

$$P \pm 9\ c\ \text{~~(fs+y)~~} - (\text{~~fs+y~~})\ c = \text{~~J~~}\ g \bullet \quad (3.124)$$

Transformînd succesiv relaţia (3.124), devine:

$$j\$+cy \pm <pc(f,+ g) = 0; \quad (3.125)$$

$$- \ 0 + \qquad \text{~~yT~~} \quad \hat{} \quad = 0. \quad (3.126)$$

Notînd

$$cof = \qquad \text{şi } «i = i^{1}\hat{} \bullet \quad (3.127)$$

Rezultînd ecuaţiile de mişcare după cum urmează: pentru deplasarea sarcinii de jos în sus

$$\text{~~y=A~~}_{t} \cos «jZ + B\sin \qquad \text{~~■~~} ; \quad (3.128)$$

pentru deplasarea sarcinii de sus în jos:

$$\text{~~y — A~~}_{s} \cos co_2/+B_2 \sin to_2 \text{~~1 —~~} \bullet$$

(3.129)

La prima ecuaţie, pentru determinarea constantelor şi ~~$B_{t,}$~~ se poate considera că la f=0, ~~$y = y_{0,} \sim$~~ =0, deci

(3_130)

Pentru/ = /. = — rezultă amplitudinea:

^{1} tOj

$$yi = -M \sim - yu + {}^{2c}p/«- \qquad \textbf{(3-131)}$$

Pentru determinarea constantelor ~~$Ă_2$~~ şi ~~$B_{\%}$~~ se consideră că, la ~~t~~ —0, ~~y~~ — ~~$y_{i,}$~~ =0, astfel că rezultă:

$$\textbf{9 - f - ^ + î ^ r - ' (3 ' , S 2 >}$$

Pentru /= — rezuită amplitudinea:

COo

$$y_2 = y_0\text{-}\urcorner\hat{} \; \text{~~}xy_{0}\text{-}'i<?f_{s.}\text{~~} \qquad (3.133)$$

Se observă cădupă fiecare schimbare de sens a mişcării, amplitudinea se micşorează cu 29 ~~$f_{s.}$~~ Perioada unei oscilaţii complete fiind:

$$\text{~~}T\text{~~} — + — = 2\text{tt}\, 1/\text{~~}1 \pm\text{~~} *0{,}2\ \sqrt{77}\text{-} \qquad (3.134)$$

coi co_2 $_1 1\ 0$

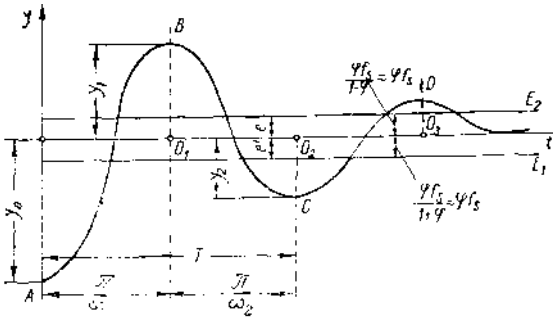


Fig. 3.40

Mişcarea sarcinii este o mişcare oscilatorie, amortizată, a cărei diagramă este reprezentată în fig. 3.40.

Se mai observă că dacă sarcina este mică, sub o anumită limită forţele de frecare frînează arcul, astfel că el rămîne insensibil la impulsurile mici.

$d'\hat{}ii$

Dacă se consideră cazul =0, adică echilibrul arcului, rezultă:

$^{<3->3\,5>}$

de unde

$$y\text{-}\pm\text{-}gf\text{-} \qquad \textbf{(3.136)}$$

între aceste limite, denumite săgeţile frecării, este cuprinsă zona de echilibru a arcului sau zona moartă. în fig. 3.40, această zonă este determinată aproximativ de dreptele si , distanta între ele fiind 2? f_s-

3.2.9. Arcuri în foi, simple, cu braţe neegale

Relaţiile de calcul pentru arcurile în foi indicate anterior se referă la jumătăţi de arc egale. Deseori la autovehicule se întîlnesc arcuri cu braţe neegale de lungimi /j şi $/_2$ (fig. 3.41), capetele A şi ~~B~~ afiîndu-se de obicei pe aceeaşi orizontală.

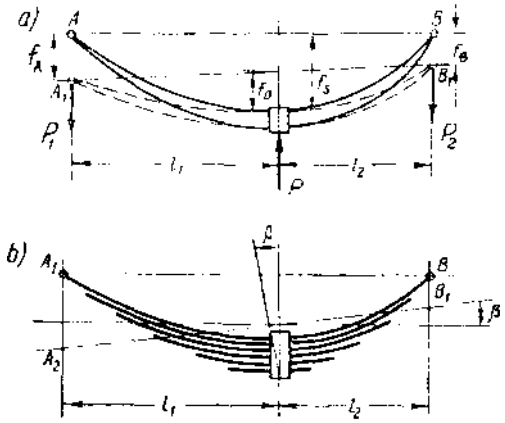


Fig. 3.41

Dacă asupra arcului, în brida de strîngere acţionează forţa ~~$P_,$~~ la capete vor acţiona sarcinile:

P.-ţ&i' »l n-sfe* <3.137)

b

Săgeţile la capete vor avea valorile aproximative:

<³-¹³⁸>

Mărimile acestor săgeţi nu sînt egale şi din această cauză, după încărcare, arcul se înclină faţă de orizontală cu un unghi (3. Deoarece, de regulă, capetele ~~A~~ şi ~~B~~ se află mereu pe o aceeaşi orizontală, legătura arcului suferă o rotaţie cu unghiul (3, ceea ce impune constructorului să prevadă posibilitatea de rotire a legăturii pe suportul său cu unghiul [3.

Deplasarea legăturii arcului este dată de relaţia:

$$f=f_S\text{-}f\text{«} = fB + (\hat{I}A\text{-}fB) \wedge = \frac{/272\boldsymbol{p}}{/o} \quad (3J39)$$

3.2.10. Arcuri în foi închise

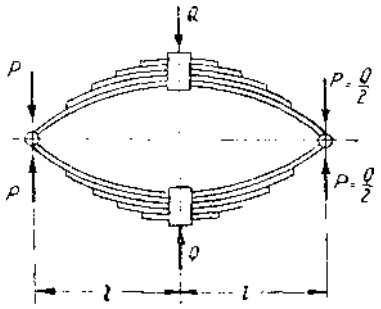


Fig. 3.42

Aceste arcuri se întîlnesc curent în construcţia vagoanelor (fig. 3.42).

Pentru calculul săgeţilor acestor arcuri se urmează aceeaşi cale ca pentru arcurile deschise, ţinînd seamă că valorile săgeţilor trebuie multiplicate cu doi. Săgeata totală a acestor arcuri se determină cu relaţia

$$f = \frac{12PP}{\boldsymbol{nbh^3E}} \text{ s— sau } f = B \frac{8Pl^3}{\boldsymbol{nbh^3E}} \text{ » (fig. 3.14'0)}$$

după cum lamela este considerată dublu triunghiulară sau dublu trapezoidală.

3.2.11. Indicaţii tehnologice

Arcurile în foi multiple se execută din benzi de oţel pentru arcuri prelucrate la cald avînd dimensiunile şi caracteristicile standardizate. Profilul laminat al oţelului pentru foi de arc poate avea diferite forme. In fig. 3.43, ~~a—f,~~ sînt arătate diferite forme ale acţiunii foii de arc.

b

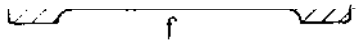
Prima var  rotunjite

Fig. 3.43

A doua variantă (fig. 3.43, *b* şi *c)* are profilul cu muchii parabolice şi este folosită în construcţia autoturismelor (Pobeda şi ZIM). Celelalte variante sînt profiluri prevăzute cu caneluri, care au scopul de a împiedica deplasarea laterală relativă a foilor. în majoritatea cazurilor, pentru arcurile în foi se utilizează foile cu dimensiunile şi caracteristicile date în STAS 909-50, pentru care compoziţia chimică, tratamentele termice şi caracteristicile mecanice sînt date în STAS 795-50.

încă de la prezentarea modului de calcul pentru dimensionarea arcului în foi s-a arătat că forma extremităţilor foii de arc influenţează în mare măsură comportarea arcului. Pentru a apropia cît mai mult arcul în foi de un solid de egală rezistenţă, se recomandă folosirea foilor cu capetele subţiate. în fig. 3.44, *a i,* sînt reprezentate formele cele mai răspîndite în practică pentru extremităţile foilor. Dintre acestea, cele mai utilizate forme sînt forma trapezoidală şi cea dreptunghiulară.

Pentru a împiedica deplasările relative între foi şi faţă de legătura de arc în sens longitudinal, la unele construcţii vechi se trece prin legătură şi prin foi un nit central rotund sau o pană laterală rectangulară.

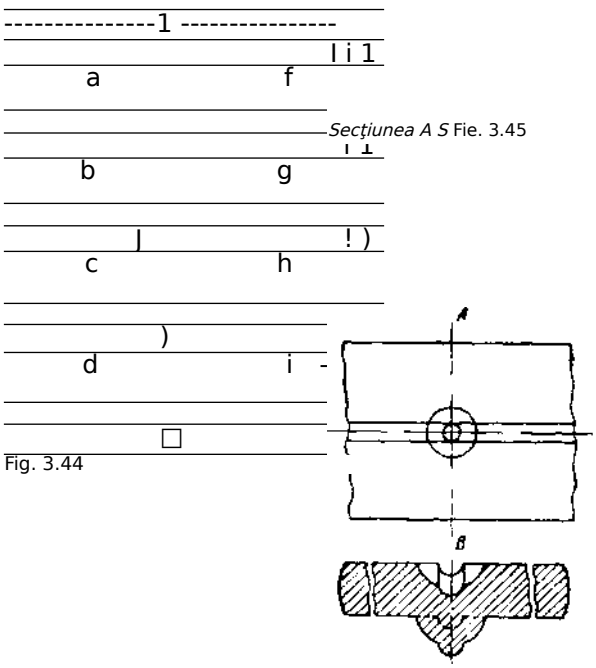


Fig. 3.44

Secţiunea A S Fie. 3.45

Deoarece prin găurirea foii sau prin tăierea prin mortezare a marginii foii se creează posibilitatea fisurării şi apoi a ruperii acestora, se foloseşte aplicarea în centrul foii a unei epolări, a realizării unei proeminenţe, prin presare la cald cu ajutorul unui dorn (fig. 3.45).Arcurile *în* foi trebuie prevăzute cu sisteme de fixare în partea centrală şi la extremităţi. Fixarea în partea centrală se face prin bride de legătură, care trebuie să fie suficient de solide şi totodată să permită o asamblare uşoară cu suportul său. Se deosebesc două feluri de legături: legături care se [montează la cald şi legături care se montează la rece.

Legăturile care se montează la cald se execută dintr-o singură piesă din OL 34 prin forjare dintr-un bloc sau prin sudură. Legăturile care se montează la rece realizează strîngerea foilor prin intermediul unor şuruburi de strîngere. în fig. 3.46, *n—h* se dau diferite variante constructive ale legăturii arcului.

Capetele arcurilor pot fi dispuse în moduri diferite, cea mai răspîn- dită fiind metoda de fixare a capetelor cu ajutorul ochiurilor şi al ecliselor sau rezemarea simplă a capetelor arcurilor cu ajutorul a diferite piese de sprijin sau de prindere speciale. în fig. 3.47, *a–i* sînt reprezentate diferite variante constructive pentru sistemul de rezemare cu ochiuri de arc, care se fac din una sau din două foi curbate (fig. 3.47 *a, b, c* — ochiuri principale, fig. 3.47 *d — i* reprezintă ochiuri suplimentare
— de siguranţă).

în fig. 3.48, *a—h* sînt reprezentate diferite variante constructive de rezemare sau de prindere a capetelor arcurilor. Variantele din fig. 3.48 *<j* şi *h* prezintă o fixare cu ajutorul garniturilor de cauciuc, folosită la mit obuze şi camioane grele.

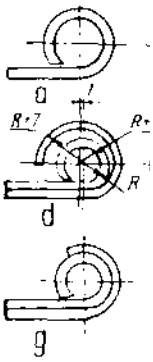
Pentru executarea arcurilor esle necesar să se stabilească lungimile foilor. Foaia principală trebuie astfel tăiată, încît din lungimea ei să fie posibilă şi formarea ochiurilor. Dacă se notează cu *l* deschiderea arcului, cu f_0 — săgeata în stare liberă şi cu *r* — raza ochiului, lungimea desfăşurată a foii principale fără ochiuri este dată de relaţia:

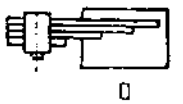
Socotind şi lungimea ochiurilor, lungimea totală desfăşurată a foii principale se determină cu ajutorul relaţiei:

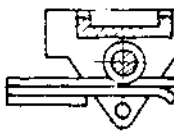
$$iot = ^{i+4} (w\text{-}j — h). \qquad (3.142)$$

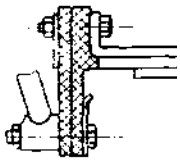
Pentru a determina lungimile foilor intermediare este necesar să se respecte relaţia de legătură dintre lungimile foilor şi curburile lor arătate anterior.

[redacted]









h

3.2.12. Fig. 3.48Exemple de calcul

Kxeinplul 1. Un arc dreptunghiular cu lungimea ~~*1 =*~~ 70 mm şi înăl- | unea /i=0,12 cm exercită, Ia capătul său liber, asupra unui mecanism, ii apăsare echivalentă cu o forţă de 2,5 kgf. Să se dimensioneze arcul şi să se stabilească săgeata lamelei dacă se admite un efort unitar maxim admisibil cr_{ttf} = 6 000 kgf/cm².

~~*Rezolvare.*~~ Lăţimea arcului lamelar este dată de relaţia , ***HPl*** 6 x 2,5x7

$$= \frac{1.22}{0.12^2 \times 6\,000} \text{ cm.}$$

$\underline{h^2 a_a i}$

Se ia 6 = 1,3 cm, astfel că secţiunea arcului lamelar A = l,2xl3 = 15,6 mm², iar momentul de inerţie al secţiunii 7 = ^-1,3x0,12* = 1,87 X IO'⁴ cm⁴.

Săgeata la capătul arcului lamelar (săgeata iniţială de preformare a lamelei de care trebuie ţinut seamă la montaj) este

$$\underline{PP} \quad 2,5 \quad x7^3 \quad \text{cm}$$
$$= 7,3 \times 10^{-1} \quad \underline{f} \quad \text{x 1,87 x IO-⁴ } f=7.;i \text{ mm.}$$
$$\underline{ini} \; 3 \times 2,1 \; \underline{x} \text{IO}^6$$

Exemplul 2. Să se calculeze secţiunea unui arc lamelar dreptunghiular cu lungimea ~~*1 =*~~ 6 cm, folosit la acţionarea unui clichet, ştiind că pentru o săgeată / = 5 mm, arcul trebuie să exercite la capătul său liber o apăsare P=2,5 kgf (fig. 3.49).

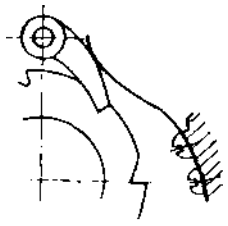


Fig. 3.49

~~*Rezolvare:*~~ Din expresia săgeţii la extremitatea arcului se poate deduce momentul de inerţie necesar:

$$\frac{2,5 \times 6^3}{3Ef} \quad \underline{PP} \quad \text{cm*.}$$
$$3 \times 2,2 \times \text{IO}^6 \times 0,5 \text{ fi } 100$$

Momentul de inerţie pentru o secţiune dreptun- ~~*bh'^*~~

ghiulară 7=—. Alegînd ~~*h ——]*~~ mm=0,l cm se obţine

$$VI.[\quad 12 \quad = 1,97 \text{ cm\%;19,7 mm.}$$

h^3

Prin rotunjire, lăţimea 6 = 20 mm. Secţiunea arcului A=lx20 = 20 mm²

.Efortul unitar maxim M

$$\sigma_{max} \sim W \sim fc/i^2 \qquad \frac{PI}{2 \cdot 0{,}1^3} = \frac{6 \times 2{,}5 \times 0}{2 \cdot 0{,}1^3} = 4\,500 \text{ kgf/cm}^2.$$

Pentru construcţia arcului se poate alege materialul. Arc 1, după STAS 795-62, care are $<j_r=140$ kgf/cm^2. în acest caz coeficientul de siguranţă

$$\frac{14\,000 \text{ j}}{\text{gf}} \qquad 4\,500$$

Exemplul 3. Să se determine deplasarea capătului liber al unei lamele de oţel încastrată la celălalt capăt, care are lungimea ~~1 =~~ 80 cm, lăţimea ~~b~~=6 cm şi grosimea /i=0,3 cm, dacă este încărcată cu o forţă P = 150 gf, care acţionează în sensul lungimii lamelei (fig. 3.50, ~~a).~~

~~*Rezolvare.*~~ Lamela indicată face parte din clasa de bază, deoarece satisface condiţiile care se impun clasei de bază, rigiditatea la încovoiere a barei şi curbura sa iniţială fiind constante, iar sarcina care solicită bara avînd forma unei forţe concentrate.

Se alege sistemul de axe indicai în fig. 3.50 ~~b.~~

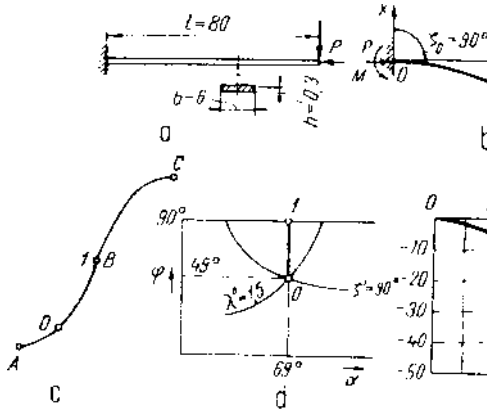


Fig. 3.50

Forţa critică pentru care bara işi pierde

stabilitatea se obţine cu ajutorul formulei lui Euler:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E I_{min}}{(\mu l)^2}$$

IYnt.ru bara încastrată la un capăt şi liberă la celălalt, // = 2 *l.*

1 !ezu ltă:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \times 2{,}1 \times 10^6 \times \frac{6 \times 0{,}3^3}{12}}{(2 \times 80)^2} = 0{,}110 \text{ kgf}.$$

Deoarece sarcina indicată în enunţ este mai mare decît sarcina critică, lamela îşi pierde stabilitatea şi ia forma încovoiată, indicată Iii fig. 3.50, c.

Parametrii principali de similitudine, ţinînd seamă de. sistemul de referinţă ales, au valorile Mj=0 şi £$_0$=0.

('.«eficientul d$\beta = l\sqrt{\frac{P}{EI}} = 80\sqrt{\frac{0{,}150}{2{,}1 \times 10^4 \times \frac{6 \times 0{,}3^3}{12}}}$ 1,84.

~~Curbura în originea 0 este~~ $\frac{1}{\rho_0}$ ~~>0 (pozitivă), iar £$_0$=0. Folosind~~ talie la 3.4 rezultă că linia elastică a barei se reflectă pe ramura principală ~~*AB*~~ a curbei elastice periodice. Se poate deduce uşor că punctul O al lamelei coincide cu punctul ~~*A*~~ de pe ramura principală, iar imaginea punctului de inflexiune — cu punctul ~~*Ii.*~~ Parametrii principali au valorile

Observînd că segmentul 01 (fig. 3.50, ~~*d)*~~ este reflectat pe jumătatea din stînga a diagramei parametrilor elastici de către segmentul vertical (fig. 3.50, ~~*c)*~~ se observă că co'=0 şi £'=0.

Folosind diagrama parametrilor elastici şi

expresia coeficientului de forţă de similitudine: P = X_x — X_0 = A_x = I ,84, căruia îi corespunde în diagramă ∂=45°.

Coordonatele x_* şi ale capătului sînt date de, relaţiile

$$x_1 = \frac{\xi_1'}{\beta} l \text{ şi } y_1 = \frac{\eta_1'}{\beta} l.$$

Parametrii elastici şi η' se află din diagramele parametrilor elastici şi au valorile: E'=0,85 şi yj' = 1,41

înlocuind cu valori se obţine:

$$x_7 = \frac{0{,}85}{1{,}o4} x80 = 3/ \text{ mm};$$

$$i/i = Ţ4î\ x^{80=61} > ^{4\ mm}.$$

în fig. 3.50, *e* esle reprezentată forma liniei elastice a barei.

Exemplul Să se determine forţele *P* care, aplicate asupra capetelor unei lamele zvelte drepte, fac ca extremităţile ei să se atingă. Se cunosc; lungimea lamelei 2/ = 740 mm, secţiunea 0,3 X 8 = 2,4 cm^2 şi faptul că este construită din oţel cu £ = 2,1 X IO^6.

Rezolvare. Deoarece bara prezintă simetrie faţă de mijlocul ei, se consideră numai jumătate din lamelă, şi anume o lamelă încastrată la un capăt, care coincide cu mijlocul lamelei date, şi liberă la celălalt capăt (fig. 3.51).

Sarcina acţionează în lungul axei lamelei neîncărcate şi are direcţia permanent paralelă cu aceasta. I.amela astfel obţinută se încadrează în clasa de bază slabilită de E. P. Popov.

Se poate deduce uşor că forma liniei elastice esle cu inflexiune şi că punctul de inflexiune coincide cu punctul de aplicaţie a forţei *P.* unde momentul înc.ovoietor este nul.

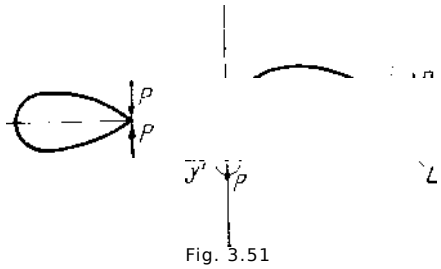


Fig. 3.51

Se alege sistemul de referinţă ca in figură.

Se observă că în origine 4- <0, curbura este negativă şi ^„=0.

^0

Folosind tabela 3.3 rezultă că $'i_n = 7t$.

Observînd că punctul 0 este un punct de compresiune, iar punctul 1 (capătul lamelei) este un punct de inflexiune se deduce că de la punctul 0 **pînă** la punctul 1 unghiul 0 variază cu $\frac{7\pi}{377}$, astfel că $tpj = \frac{7\pi}{377}$ şi deci unghiul i variază între limitele ■

Se observă că ^=71+9;

$$F(4,) = 2F(|) + F(cp); \text{ şi } E(+) = 2E(f)+£«?),$$

11 ude valorile lui 9 sînt cuprinse între 0 şi —

Avînd în vedere condiţiile puse în enunţ, aşa cum rezultă şi din figură, rezultă

$$X| = £0 = 0.$$

Observînd că $s = l$ şi se obţine;

$$|-[£(T_1)-E(Y_0)] = 1,$$

$$\frac{2}{8}\left[3E\left(\frac{\pi}{2}\right) - 2E\left(\frac{\pi}{2}\right)\right] = 1$$

şi deci $2E(y) = p$.

Folosind relaţia parametrului (3 pentru curbele fără inflexiune se poate scrie:

$$?-3F(i)-2f(f|_J.-f-j|_2£(|)$$

««/•■(")-2£(|).

Aceasta este ecuaţia transcendentă pentru determinarea modulului k. Folosind tabelele pentru integralele eliptice complete se obţine a«rf65,4°.

Rezultă Â"=sin a=0,908 şi $S>=F$ jyj =2,323 şi

$$P = \frac{5{,}396E'l}{2{,}323 \text{ sau } \frac{1}{1}}$$

$$P = \frac{2{,}1 \times 10^6}{0{,}396} \times \frac{0{,}3 \times 8^3}{} \sim = 8{,}25 \text{ kgf}.$$

Exemplul 5. Să se dimensioneze un arc în foi suprapuse simetric, care să suporte o sarcină de lucru de 1 300 kgf, ştiind că distanţa dintre ochiurile arcului îndreptat este de 1 200, iar săgeata sub sarcina de lucru de 80 mm.

Rezolvare. Pentru simplificare se consideră un sfert de arc care are lungimea în stare îndreptată /=G00 mm şi este încărcată la capăt cu sarcina P = 650 kgf.

Momentul de inerţie total al secţiunii arcului

$$^ = \frac{Pl^3}{W}$$

se alege # = 1,35.

înlocuind cu valori se obţine

$$\frac{T}{1,6} = \frac{1,35 \times 650 \times 60^3}{3 \times 2{,}1 \times 10^6 \times 8} = 37 \text{ cm}^4$$

Grosimea foii principale, alegînd o rezistenţă admisibilă $a_a j$ = 5 000,

se determină cu relaţia

$$M_t = \frac{2 \times 5\,000 \times 3{,}76}{650 \times 60} = 960 \text{ Cin}$$

Se alege secţiunea foii 9,6x60 mm.

Momentul de inerţie al secţiunii unei foi

$$/ = \frac{6 \times 0{,}96^3}{} = 0{,}44 \text{ cm}^4.$$

Numărul de foi necesar

$$n \geq \frac{3,76}{0,44} \cdot \frac{8 \cdot 55}{600} \cdot l$$

Prin rotunjire, n= 9 foi.

Constructiv se stabileşte lungimea celei de-a doua foi egală cu lungimea foii principale. Tot constructiv se alege lungimea foii celei mai mici de. 110 mm (lungimea totală, deci, 220 mm).

Pentru stabilirea lungimilor foilor intermediare se iau trepte egale între capetele foilor, deoarece foile au grosimi egale.

Rezultă:

$$\frac{600 - 110}{\text{---------}} = 70 \text{ mm.}$$

Lungimile foilor (pentru sfertul de arc) sînt următoarele: Zj = 600 mm pînă la ochiul pentru legătură; Z_2 = 600 mm; l_3=530; Z_4 = 460 mm; $/_5$=390 mm; Z_6 = 320 mm; Z_7=250 mm; Z_8 = 180 mm; Z_9 = 110 mm.

Pentru determinarea valorilor maxime şi minime ale săgeţii se efectuează, pe baza formulelor indicate, calculele concentrate în tabela următoare:

A(1...n)	^{a}k cm	$^{\prime}k$ cm¹	y $ktot$ cm⁴	4 cn]³	3 3 $^{a}k+/\sim^{a}k$ $^{\prime}k$ cm —¹	„3 „3 $k+2$ $^{a}k+1$ cm- ¹
1	0	0,44	0,44	0	0	780
2	0	0,44	0,88	0	390	2 740
3	7	0,41	1,32	343	1 830	4 950
4	14	0,44	1,76	2 744	3 700	7 220
5	21	0,44	2,20	9 261	5 870	9 500
6	28	0,44	2.64	21 952	7 950	11 900
7	35	0,44	3,08	42 875	10 200	14 000
8	12	0,44	3,52	74 088	12 400	27 800
9	49	0,44	3,96	117 649	16 500	—
Z=fi0				=216 000 58	840	78 890

Valoarea săgeţii minime

$$/W= 3\frac{T;Z_j\text{-}\hat{}r_}{\;} = 3W\hat{}UT\text{«}\ X\ £>8\ 840=6{,}1\ \text{cm}.$$

$$\text{Săgeata}_{/maz—} = \frac{|\hat{}^{a}k+2\sim^{a}k+I\,^{a}2}{\frac{L—J}{*=1}\,|'fc\ \text{———————}\ Vi} \quad \frac{600}{3x2{,}1\ xlO^{6}} \quad \text{X 78 890=8,15 cm.}$$

Săgeata arcului este cuprinsă între 6,1 şi 8,15 cm.

Săgeata are valoarea medie: $\frac{6{,}1}{\sim\hat{}8{,}15}$ =7,0625 cm, astfel că abaterea faţă de săgeata prescrisă este de aproximativ 0,5 cm.

Verificarea tensiunilor în foile scurte (ultimele **3** foi). Extremităţile foilor se execută retezate după o dreaptă

.

Rezultă ~~I<=~~ 0 şi

$$J_9 — /_{„} \quad 180 — 110 \quad '$$

Folosind relaţiile indicate pentru coeficienţii $C_{?i}$ j şi $C_{n_.2}$ se obţine:

(^ = 1 şi C- =0,98.

Momentele încovoietoare în ultimele trei foi:

$$M\text{-} = \frac{Mj}{\text{h ik}} = \frac{650x00}{0,96x25—18^{+4}} = \frac{Jg}{^8^7 \; ^8 \; //} \; ^4\text{'bOO kgf• cm;}$$

$$^{M}> cT^Ăd = \frac{4\ 600}{fc= 1} * 4 \quad 800 \quad k§^{f\text{'}cm'}$$